

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э.А. Петровский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов  
нефтегазового производства»

Разработка специального буро-фрезерного инструмента для удаления  
нефтяных проливов в зимний период

Руководитель \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент

А.К. Данилов

Выпускник \_\_\_\_\_

А.В. Мартынюк

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э.А. Петровский

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Мартынюку Андрею Владиславовичу

Группа ГБ 13-07

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка специального бурового фрезерного инструмента для удаления нефтяных проливов в зимний период»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР А.К. Данилов, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Базовый погрузчик Bobcat S850. Исходные характеристики, паспорт. Параметры послойного фрезерования: глубина 0,1 м, ширина захвата 2 м. Категория разрабатываемого грунта до V включительно по шкале прочности ударника ДорНИИ.

Перечень разделов ВКР:

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы.

Раздел 1 – Обоснование выбора конструкции, патентный обзор.

Раздел 2 - Расчет и выбор рациональных параметров резцов.

Раздел 3 – Технологическая часть. Проектирование бурового инструмента.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического и иллюстративного материала: Чертёж общего вида навесного фрезерного оборудования (1 лист формата A1), сборочный чертёж фрезы (1 лист формата A1), чертёж детали корпуса фрезы (1 лист формата A1), чертёж резца (1 лист формата A4), презентация (12 –16 страниц).

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

А.К. Данилов

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

А.В. Мартынюк

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка специального буро-фрезерного инструмента для удаления нефтяных проливов в зимний период» содержит 70 страниц текстового документа, 33 рисунка, 2 таблицы, 1 приложение, 29 использованных источников, 4 листа графического материала.

НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ, НЕФТЯНЫЕ ПРОЛИВЫ, МЁРЗЛЫЙ ГРУНТ, ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ, ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ.

Цель работы: разработка схемы и конструктивного решения навесного оборудования для послойного удаления нефтяного пролива на мерзлом грунте в зимний период до наступления весеннего паводка в районах Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ аварийных проливов на объектах нефтегазодобычи;
- анализ оборудования для ликвидации нефтяных проливов;
- патентно-информационный обзор;
- оценка физико-механических свойств мерзлых грунтов;
- расчёт параметров рабочего инструмента.

В ходе выполнения выпускной работы была проанализирована информация о аварийных разливах нефтепродуктов, изучены способы устранения нефтяных проливов, оценены физико-механические свойства мёрзлых грунтов, спроектирован эскиз рабочего инструмента для удаления нефтяных проливов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Обоснование выбора конструкции.....	8
1.1 Обзор условий при устранении аварийных ситуация проливов нефти	8
1.1.1 Обзор аварий при транспортировке нефти .....	8
1.1.2 Способы устранения.....	13
1.1.3 Физико-механические свойства мерзлых грунтов .....	22
1.2 Патентный обзор .....	30
1.2.1 Устройство для снятия верхнего слоя зараженного грунта - Авторское свидетельство SU1710672 .....	30
1.2.2 Машина для послойного фрезерования горных пород- RU2098565 .....	33
1.2.3 Способ очистки земной поверхности от нефти и нефтепродуктов в зимний период - RU2317161 .....	35
2 Расчет и выбор рациональных параметров резцов.....	39
2.1 Выбор инструмента. Определение мощности резания .....	39
2.2 Выбор параметров привода гидромотора.....	49
3 Технологическая часть .....	52
3.1 Выбор технологической схемы .....	52
3.2 Проектирование бурового инструмента .....	55
Заключение .....	66
Список использованных источников .....	67
Приложение А .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время одной из экологических проблем является загрязнение нефтью и нефтепродуктами поверхности почвы, которое возникает в результате транспортировки и нефтедобычи, а также в следствие техногенных аварий. Данные загрязнения влияют на почву: наносят значительный вред поверхностному слою земли, грунтовым и поверхностным водам. Данный инструмент необходим для устранения последствий нефтяных разливов до наступления весеннего периода, не допуская ухода нефти в грунтовые воды, тем самым загрязняя окружающую среду. Исследование процессов взаимодействия рабочих органов машин, предназначенных для удаления мерзлого грунта с нефтью, а также изучение физико-механических свойств разрабатываемого материала, с целью создания конструкции инструмента, является актуальной научной задачей.

**Цель работы.** Разработка схемы и конструктивного решения навесного оборудования для послойного удаления нефтяного пролива на мерзлом грунте в зимний период до наступления весеннего паводка в районах Крайнего Севера.

### **Задачи работы:**

- изучение аварийных нефтяных проливов на объектах нефтегазодобычи;
- изучение оборудования для ликвидации нефтяных проливов;
- проведение патентного обзора существующих способов удаления нефтяных проливов;
- оценка физико-механических свойств мерзлых грунтов;
- расчёт параметров рабочего инструмента.

Своеобразные грунтовые условия, сложные климатические условия, характеризуются широким распространением мерзлых грунтов в Восточно-Сибирском регионе. Необходимо провести обзор физико-механических характеристик мерзлых грунтов с нефтяной эмульсией, которые влияют на эффективность удаления проливов буро-фрезерным инструментом.

Как правило, в районах Крайнего Севера с октября по май устанавливается отрицательная температура. При аварийных разливах особо важным является предупреждение попадания загрязняющих веществ в водные объекты, поэтому ведение работ по очистке почв в зимний период является предпочтительным.

## **1 Обоснование выбора конструкции**

### **1.1 Обзор условий при устранении аварийных ситуация проливов нефти**

Когда концентрация нефтепродуктов в почве и грунтах достигает такой величины, при которой начинаются негативные экологические изменения в окружающей среде, такие почвы и грунты считаются загрязненными. Под негативными экологическими изменениями подразумеваются: нарушение экологического равновесия в почвенной экосистеме, гибель почвенной биоты, уменьшение продуктивности или гибель растений, изменение морфологии и водно-физических свойств почв, снижение плодородия. Большую опасность представляет собой загрязнение подземных и поверхностных вод в результате вымывания нефтепродуктов из почвы или грунта и их растворения в воде [1].

#### **1.1.1 Обзор аварий при транспортировке нефти**

Непросто переоценить роль нефти в экономике мира на сегодняшний день. Она считается преимущественным сырьем для изготовления передовых синтетических материалов, топлив, занимает важный этап в структуре топливноэнергетических балансов, производные её переработки применяются в создании электроэнергии и тепла. Эксплуатация нефти, её производных определяет степень экономического развития и жизни человека.

Транспортировка сырой нефти происходит по трубопроводам, которые доставляют нефть от скважин к базам на промысле или к магистральным терминалам. С помощью магистральных трубопроводов нефть перекачивается к пунктам использования или перевалки на железнодорожный либо водный транспорт, сюда входят подземные и подводные трубопроводы.

Магистральный нефтепровод представляет собой сложное сооружение и



включает в себя [2,3]:

- трубопровод совместно с запорной арматурой, переходы через препятствия, узлы подсоединения нефтеперекачивающих станций (НПС), компрессорных станций (КС), узлы запуска и приема очистных устройств;

- аппарат электрохимической защиты от коррозии, линии и сооружения технологической связи, система телемеханики трубопроводов;

- линия электропередачи, предназначенная для сервиса трубопроводов и устройства электроснабжения и удаленного управления запорной арматурой и аппаратами электрохимической защиты трубопроводов;

- средства против пожара, эрозии и сооружения для защиты трубопроводов;

- цистерны для хранения и разгазирования конденсата, земляные амбары для аварийного выпуска нефти, нефтепродуктов, конденсата и сжиженных углеводородов;

- здания и сооружения линейной службы эксплуатации трубопроводов;

- постоянные дороги и вертолетные площадки, расположенные вдоль магистрали трубопровода, и подъезды к ним, опознавательные знаки местонахождения трубопроводов;

- головные и промежуточные перекачивающие и наливные насосные станции, резервуарные парки;

- пункты подогрева нефти и нефтепродуктов.

Необходимо отметить, что на всех стадиях нефтепользования, которая начинается от разведки и добычи нефти и кончается утилизацией ее отходов, в какой-то мере в следствие разливов нефти, а кроме того выбросов вредоносных препаратов в атмосферу, воду и сушу происходит загрязнение находящейся вокруг среды, отрицательное воздействие на самочувствие людей. Разливы нефти и нефтепродуктов, которые могут встретиться на местах нефтедобычи и переработки, имеют все шансы возникать при транспорте продуктов наносят урон экосистемам, приводят к негативным финансовым и социальным последствиям.

Политика в направлении предотвращения и предупреждения результатов

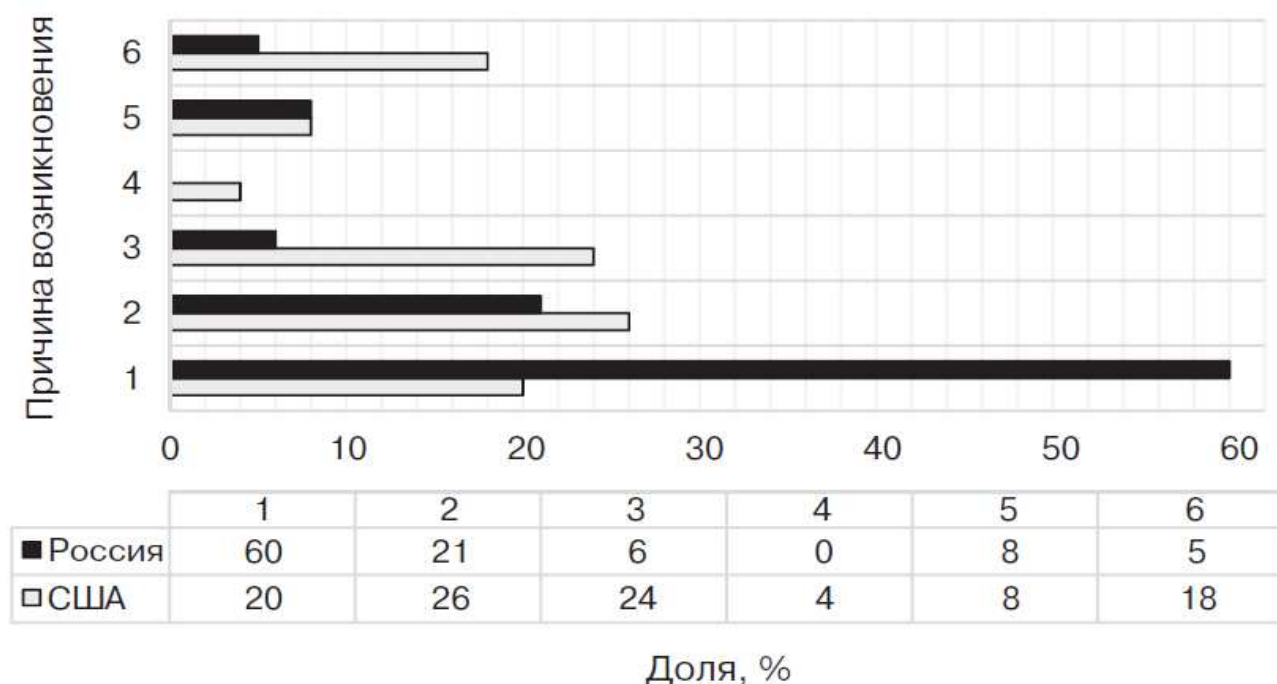
аварийных разливов нефти в последнее время ведётся достаточно активно. Данная проблема будет оставаться актуальной, так как последствия аварий ощутимы для природы и достаточно сложно предусмотреть меры по защите окружающей среды при авариях на нефтепроводах (рис 1.1).

Нефть, попадая в почву может вызывать необратимые изменения, нежелательные процессы. Нефтяные проливы, обусловленные аварией, выделяются от множества иных техногенных воздействий тем, что они выдаёт «залповую» нагрузку на среду, вызывая мгновенную ответную реакцию.



Рисунок 1.1 – Схема устройства магистрального нефтепровода

На рисунке 1.2 представлены причины возникновения аварий на магистральных нефтепроводах. Исходя из данных, для магистральных нефтепроводов России наиболее типичны аварии, причинами которых являются внешние воздействия (60%) и дефектами оборудования или материала (21%), в США — чаще всего встречаются дефекты, связанные с оборудованием или материалами (26%), коррозией (24%) и внешним воздействием (20%) [4].



1 — внешнее воздействие; 2 — дефекты оборудования или материала; 3 — коррозия; 4 — природное воздействие; 5 — ошибочные действия персонала; 6 — другое

Рисунок 1.2 – Распределение числа аварий на магистральных нефте- и нефтепродуктоводах в зависимости от причин их возникновения (%)

Установлено, что характер местности имеет сильное воздействие на число аварий на промысловых нефтепроводах. Выделяются следующие типы местности, которые оказывают влияние на нефтепроводы: участки ландшафта с заболоченными территориями, низина, территория куста, грунт, канава, дорога, берега водоемов и подводные переходы [5].

Отказ трубопроводов сбора и транспорта нефти рассматривается, как нарушение работоспособности, которое связано с экстренной частичной или полной остановкой нефтепровода в следствие нарушения герметичности трубопровода или запорной и регулирующей арматуры или же по причине закупорки трубопровода.

Повреждение - нарушение исправного состояния трубопроводов при сохранении его работоспособности, которое не сопровождается имущественным и экологическим вредом.

Отказы ПТ делятся на некатегорийные и категорийные, сопровождаемые несчастными случаями и пожарами.

К категорийным относятся отказы, которые расследуются в соответствии с инструкцией Госгортехнадзора России [6]. К таким видам отказов принадлежат полные или частичные разрушения объектов добычи и подготовки нефти и газа, трубопроводов, которые сопровождаются возможными утечками нефти в объеме  $10 \text{ м}^3$  и более, или утечкой природного (попутного) газа в объеме 10 тысяч  $\text{м}^3$  и более.

Все остальные отказы относятся к некатегорийным и расследуются в соответствии с РД 39-132-94 «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов» [7,8].

В некатегорийные отказы входят: негерметичность из-за коррозии запорной или регулирующей арматуры, в следствие каких-либо внешних механических повреждений, разрывов, трещин на металле труб, снижение пропускной способности трубопровода по причине закупорок.

Чаще всего нефтяные разливы происходят из-за:

- присутствие опасных веществ в больших количествах (нефть, газ);
- перекачка нефти под высоким давлением;
- содержание механических примесей в нефти, которые совершают абразивный износ оборудования и трубопроводов;
- коррозионная активность составляющих в сырой нефти.
- механические повреждения трубопровода;
- блуждающие токи, которые способствуют ухудшению свойств стенок металла труб;
- нарушение правил изготовления труб, несоблюдение ГОСТам, плохое качество сварных соединений, старение металла;
- разгерметизация из-за землетрясений, наводнений и других природных катаклизмов.

### 1.1.2 Способы устранения

Мероприятия по устранению последствий аварийных разливов нефти делятся на три ступени: обнаружение пролива, ограничение разлива и сбор и (или) ликвидация разлитой нефти.

Мониторинг, то есть слежение за состоянием трубопроводов, арматуры и т.д. необходим с целью обеспечения своевременного выявления фактов аварийных разливов нефти; оценивания возможных экологических последствий; информирования работ по устранению разливов нефтепродуктов.

Также мониторингу подвергаются и многие факторы антропогенного и природного происхождения, которые могут повлиять на последствия аварии. Гидрометеорологическая, сейсмическая службы, служба технического контроля осуществляют слежение за характеристиками технических объектов транспорта нефти и окружающей среды.

Основные задачи, которые ставятся перед лабораторным контролем, системой мониторинга и прогнозированием чрезвычайных ситуаций являются: качественный сбор, обработка, анализ информации о возможных источниках нефтяных разливов; прогнозирование последствий; лабораторный контроль; разработка мер по устранению разливов; информирование служб, участвующих в ликвидации аварий.

Большой смысл придаётся задачам мониторинга сети транспорта нефти, потому что тут чаще всего случаются аварийные проливы нефти и нефтепродуктов.

Работы по устранению разливов нефти на грунт можно разделить на три этапа:

- локализация разлитой нефти;
- сбор нефти;
- рекультивация земель.

Данные работы происходят совместно, одновременно друг с другом, как таковой границы между ними нет.

Аварийные проливы нефтепродуктов на суше покрываются гранулами нефтесорбента вручную или с помощью мониторов. Реакция абсорбции нефти нефтесорбентом происходит довольно активно и завершается, как правило, в течение нескольких минут или в иных случаях - нескольких часов без вспомогательного вмешательства оператора. Дозировка, необходимая для определения количества сорбента нефти для устранения пролива, легко рассчитывается и добавляется примерно 1/10 от массы разлива нефти.

С загрязненной зоны происходит сбор конгломерата разлитой нефти с нефтесорбентом с помощью ручных приспособлений или с помощью специальной техники – нефтемусоросборщиков, выбор зависит от площади загрязнения.

При малых площадях проливов и тем более, если они произошли в удаленных местах, наиболее простым способом считается сжигание собранного нефтешлама на месте в передвижных установках с соблюдением всех условий экологической безопасности. При больших количествах, собранный нефтешлам вывозится на временные или стационарные пункты утилизации.

Нефтешламы могут утилизироваться методом прямого сжигания в инсинераторах, с получением пара или горячей воды или в фильтрах-прессах, где происходит отжим нефтепродукта с дальнейшей очисткой сорбата и сбором в брикеты сухого остатка нефтешлама.

Устранение разлитой нефти большого объема проводится путём строительства дамб, ловушек для нефти, каналов и отстойников, применением локализующих бонов.

В основном строятся земляные дамбы, возведение которых осуществляется с помощью насыпи. Бульдозерами, либо скреперами в основании дамбы снимают и убирают в валы растительный слой, потом загружают погрузчиком или экскаватором в грузовики. Если растительный грунт отсутствует, то основание грунта уплотняется с помощью катков после подготовительного рыхления на глубину 0,10-0,20 м.

Гидрозатвор (нефтеловушка) - это гидротехническое сооружение, которое

перекрывает водотоки для предотвращения распространения аварийной нефти. Нефтеловушка (рисунок 1.3) включает в себя земляную плотину, водопропускное сооружение, дамбу и отстойник. Гидрозатворы позволяют предотвращать распространение нефтепродуктов и производить ее сбор в отстойник. Кроме того, предусматривается обустройство подъездов и площадок для механизированного сбора и транспортировки аварийной нефти.

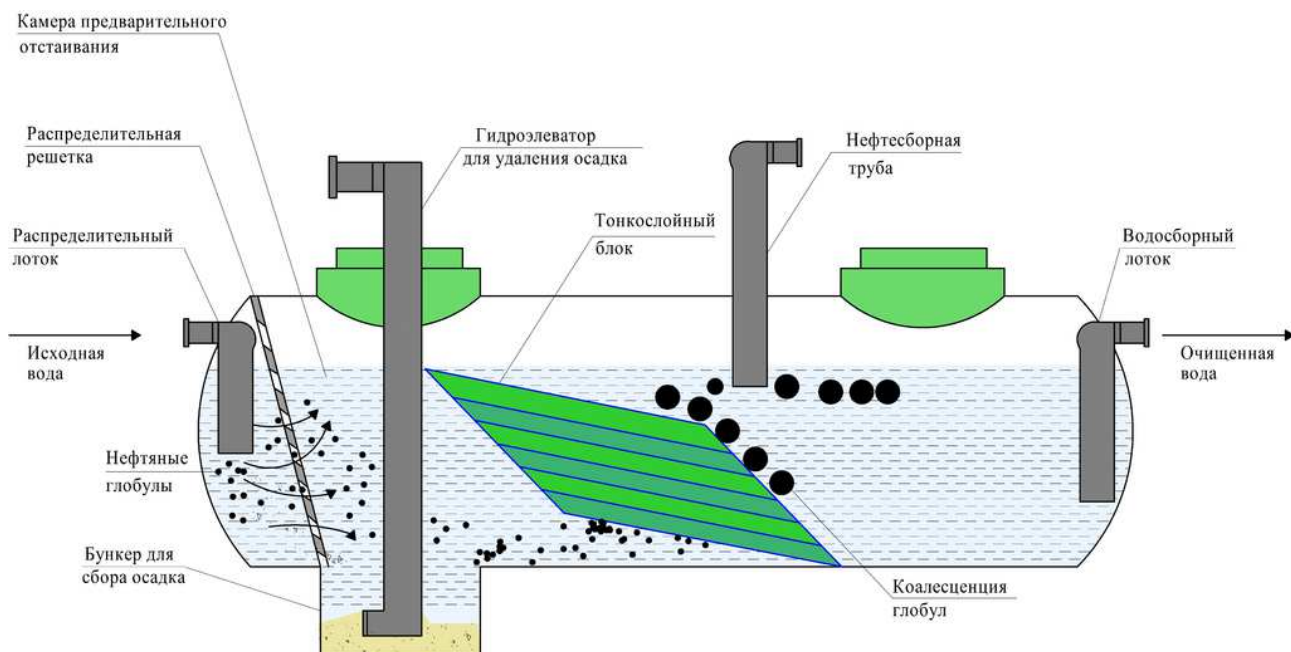


Рисунок 1.3 – Схема технологического процесса в нефтеловушке

По завершению очистки и сбора нефти проводится разборка нефтеловушки и рекультивация нарушенных земель.

Из металлических труб диаметром 330-1400 мм состоит водопропускное сооружение гидрозатвора. Для того, чтобы обеспечить отвод воды со среднего уровня отстойника, необходимо уложить трубы с обратным уклоном или приварить колена. Отстойник необходим для сбора и отстоя аварийной нефти. Проходящий в отстойнике поток воды должен быть с ламинарным режимом течения, при нём котором аварийная нефть поднимается на поверхность, а частицы грунта оседают на дно.

С целью отвода избыточной воды и локализации нефти прокладывают

открытые каналы на переувлажненных территориях, устраивают отстойники, где собирают нефтепродукты с поверхности воды. Строительство открытых каналов ведётся землеройными машинами, способами гидромеханизации, или с помощью взрывов.

На водотоках, озерах, болотах для сбора нефти находят применение боновые заграждения, которые оперативно перекрывают водоток и задерживают нефтепродукты, находящиеся на поверхности воды, и направляют нефть к месту сбора. На водотоках и водоемах, что локализовать разливы нефти используются боны: речные, береговые, заградительные, болотные и портовые.

По поверхности воды боновые заграждения перемещают нефть к месту сбора, где она убирается помощью экскаваторов, скиммеров, насосов и вакуумными бочками с берега (рис. 1.4).

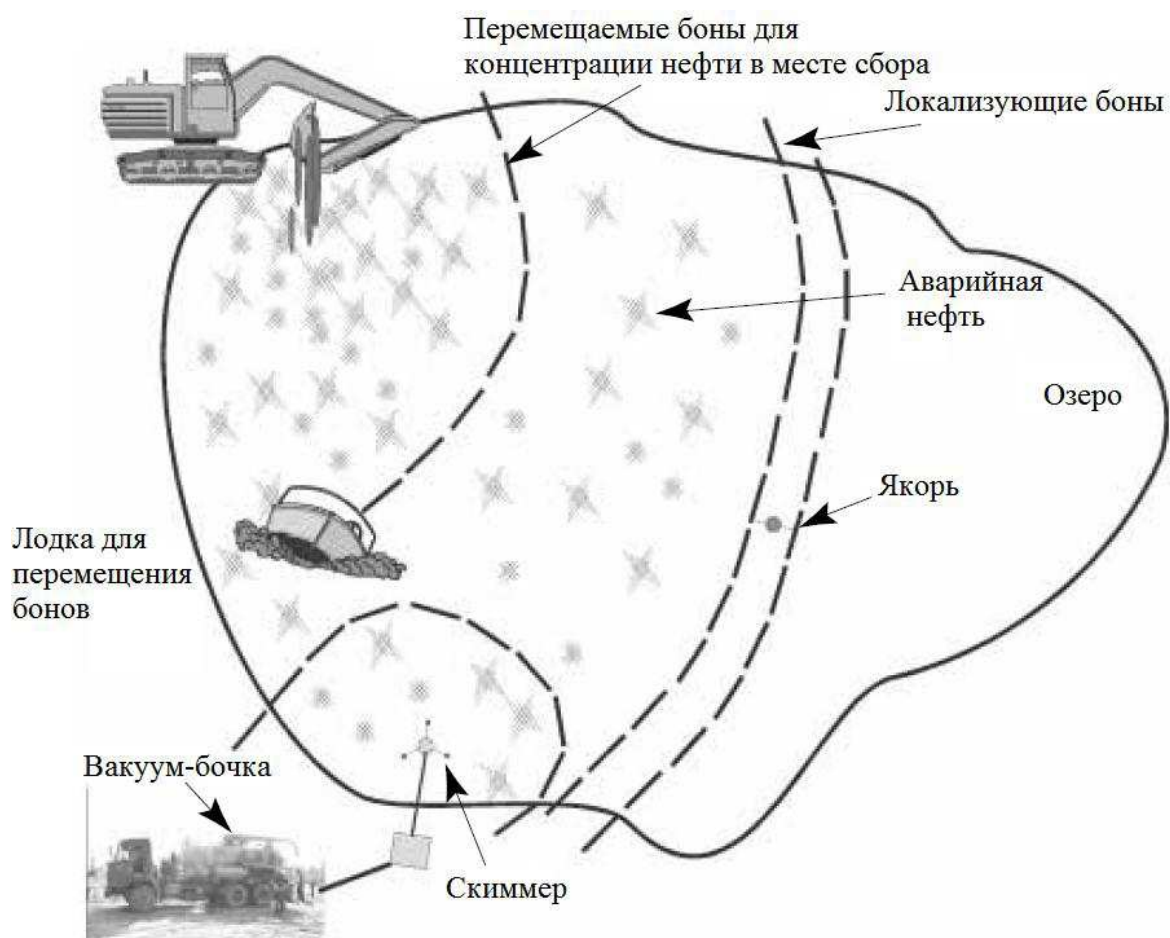


Рисунок 1.4 – Схема локализации аварийной нефти при помощи бонов



Работы по сбору нефтепродуктов подразделяется на два вида - щадящие и грубые. Щадящий способ, в нём верхний слой грунта и растительность не затрагиваются, а на загрязненный участок заполняют водой, с которой в дальнейшем собирается нефть. Грубый способ, нефть снимается вместе с верхним слоем грунта бульдозерами, также может счищаться скребками-драгами и смываются водяными струями.

Часто встречающимся методом ликвидации нефтяных проливов является засыпка песком замазученных земель. Намывной и карьерный песок, который используется для засыпки разливов нефти не восстанавливает плодородие почвы в абсолютной мере. Засыпка нефтяных разливов на почве торфом считается более успешной технологией, однако без перемешивания торфяного слоя с загрязненной почвой не является экологичным. Существует взрывной метод, при котором густо размещают заряды, обеспечивающие перемешивание торфа.

В условиях Крайнего Севера, где происходит добыча основной части российской нефти, при низких температурах у нефти наблюдается высокая вязкость, в следствие этого нашли применение данные методы сбора нефти.

Способ выдавливания используется на болотах - это механическое удаление нефти с использованием заваренной трубы с торцов, которую протаскивают по загрязненным почвам, подгоняя нефть к местам сбора. Заполнив трубу водой можно изменять давление на грунт.

Сбор нефтепродуктов при помощи скребков, сделанных из разрезанной трубы, эффективен при наличии поверхностной вязкой аварийной нефти. Трактор через лебедки перемещает скребок с аварийной нефтью к местам сбора. Передвижение трубы и скребка выполняется при помощи троса, который прикреплен к лебедкам двух тракторов, находящихся на локализующих дамбах.

В северных условиях сбор аварийной нефти может осуществляться при помощи одноковшовых экскаваторов и бульдозеров.

Как правило рекультивацию загрязненных территорий при разливах нефти проводят в два шага: технический и биологический. Техническая рекультивация нефтезагрязненных грунтов предполагает следующие мероприятия:

землевание, сгребание и вывоз загрязненного слоя или выжигание. Разлившуюся при аварии нефть отвозят в защитные амбары, траншеи или оконтуривают дамбами.

Вспомогательные средства, которые помогают задержать распространение нефти: природные и синтетические сорбенты: песок, бобы, маты, торф.

Устранение нефти с земли ведётся с помощью специальных насосов. Сгребание загрязненного слоя проводится с помощью бульдозеров или тракторов, которые оборудованы танками для сбора нефтепродуктов. В дальнейшем происходит захоронение замазученного нефтью слоя почвы в могильниках. Кроме того, появляется другая задача, связанная с местоположением могильника, потому что они сами становятся источниками вторичного загрязнения.

Биологическая рекультивация позволяет сократить период восстановления экосистемы после нефтяных проливов (более 10 лет), применяя комплекс мер агротехники.

В настоящее время имеются основные мероприятия для ликвидации нефтезагрязнений почв:

- локализация разлившейся нефти;
- сбор пленочной нефти используя различных устройств и материалов;
- сжигание разлившейся нефти;
- отсыпание аварийных участков торфом или песком.

Технологии и специальные технические средства, которые применяются для устранения проливов нефти на воде, должны обеспечивать свое эффективное использование, а также крепкое удержание нефтяного пятна в наименьших границах [9].

Оперативность реагирования на проливы нефти имеет значение, так как со временем нефтяное пятно увеличивается.

От температуры и обстановки на море и масштабов разлива, легкие продукты при благоприятных условиях фактически исчезают с поверхности моря в течение пары дней, легкие нефти - в течение 2-5 дней и нефти средней плотно-

сти - в течение 5-10 дней. Тяжелые нефти или нефти парафинового основания и тяжелые нефтепродукты сохраняются в течение более длительных периодов, но и они со временем рассеиваются естественным образом.

Используются два вида нефтесборных работ для механического сбора нефти на воде:

- стационарный сбор нефти, где используют боны и нефтесборщики для удаления нефтяных пятен, от источника разлива;
- передвижной способ сбора нефти, при котором используются заборные скиммеры.

Важным фактором является правильность выбора длины бонового заграждения, так как оно должно легко управляться и устанавливаться.

Для устранения нефтяного пятна и определения его толщины определяется объем смеси воды с нефтью. Расчеты должны принимать во внимание изменения в объеме вследствие испарения, улетучивания, эмульгирования, естественного диспергирования и иных изменений в связи с нахождением во внешней среде. Большое количество небольших разливов, быстро локализованных в спокойных водах, вероятнее всего не будут подвержены значительному эмульгированию или же испарению, а также естественной дисперсии.

Вместе со скиммерами и болами при этих технологиях могут также использоваться вспомогательные средства, такие как:

- рабочие платформы для управления и извлечения скиммеров и бонов;
- ёмкости для собранных веществ;
- насосы, которые перекачивают собранную жидкость в хранилище;
- воздушное судно для выполнения мониторинга;
- суда обеспечения безопасности;
- устройства для транспортировки и удаления;
- оборудования для защиты и очистки побережья;
- дополнительное оборудование (прокладки, шланги, адаптеры).

Применение диспергентов

Одним из методов уничтожения нефтяной пленки в тех случаях, когда она угрожает катастрофическим загрязнением приоритетных зон, является ее диспергирование с помощью специальных препаратов - диспергентов [10].

Наибольшую эффективность диспергенты проявляют в первые 72 часа с момента разлива нефтепродукта и если температура окружающей среды превышает 5°C. Не рекомендуется использовать диспергенты на глубинах менее 10 м.

Диспергаторы ускоряют скорость естественного диспергирования, понижают «барьер» (натяжение), который мешает образованию очень маленьких капель под действием волн. При использовании диспергаторов образуется гораздо больше мелких капелек нефти. Нефть переходит в дисперсное состояние быстрее при сильном волнении.

Диспергаторы необходимо применять быстро и точно. Они могут наноситься с вертолетов, самолетов и судов, при этом распыление с самолета – является лучшим методом при больших проливах нефти.

При штормовой погоде используется распыление с воздуха, в связи с невозможностью использовать механические средства сбора нефти. Важным соображением является отработка именно наиболее толстых частей нефтяного пятна с использованием достаточного количества диспергента.

На основе результатов проведения оценки экологической выгоды принимается решение об использовании диспергентов.

#### Применение сорбентов

Использование нефтяных сорбентов аналогично применению других порошкообразных сорбентов. При ликвидации загрязнения нефтью поверхности воды, в первую очередь производят локализацию разлившейся нефти или нефтепродуктов с помощью бонов, что является обязательным условием при любой технологии очистки. Затем сорбент наносят на загрязненную поверхность любым механическим или ручным способом пока масляная пленка полностью не абсорбируется и не образуется плавающий конгломерат. После этого производится стягивание бонового заграждения, концентрируя сорбент с по-

глощенным нефтепродуктом вблизи места, удобного для сбора, и удаляют отработанный сорбент с поверхности воды.

Временной резерв для локализации разлива нефти без существенного ущерба для окружающей среды, в зависимости от погодных условий, обычно не должен превышать 24-72 часов с момента аварии. Использование порошковых сорбентов, сохраняющих плавучесть в течение длительного периода времени при ликвидации нефтяного загрязнения, позволяет значительно увеличить временные запасы для проведения подготовительных мероприятий и сбора нефти.

При сборе нефти на воде могут быть использованы большие конструкции сорбционно-барьерных бонов длиной 5 метров, состоящих из нетканого сорбента, элемента плавучести и сетки, которая придаёт структуре необходимую форму. Боны легко соединяются друг с другом и образуют барьеры, которые ограничивают нефтяное пятно и препятствуют его распространению по поверхности воды или почвы. С помощью бонов огороженное место разлива буксируется к краю воды и концентрируется для последующего сбора, одновременно поглощая нефтепродукт. Боны плавучие даже в состоянии полного насыщения нефтепродуктами.

#### Контролируемое сжигание нефти

Разлитая сырая нефть в принципе может быть сожжена, но с образованием тонкой масляной пленки на водной поверхности, сгорание прекращается из-за отвода тепла в толщу воды. Кроме того, пролитая нефть быстро теряет легкие, наиболее горючие фракции. Поэтому, чтобы осуществлять контролируемое сжигание разлитой нефти, локализуется разлив нефти, масляный слой сгущается (до нескольких сантиметров) с целью его последующего поджога и сжигания.

Легкие и летучие нефтепродукты могут быть подвержены возгоранию сразу после разлива. Эти характеристики будут склонять чашу весов в пользу сжигания на месте - вариант уничтожения, который потенциально способен удалить значительные количества нефти с поверхности воды, но который также

приведет к появлению обильного черного дыма и небольшого количества стойких осадков.

В таблице 1.1 представлены технологии сбора разлитой нефти с грунта.

Таблица 1.1 – Технологии сбора разлитой нефти с грунта

Технология	Описание
Заводнение	Заполнение понижения водой, с помощью которой можно собрать нефть с поверхности воды, смыть её с брандспойтами с поверхности земли.
Смыв холодной водой	Используются высоконапорные насосы, брандспойтов и шлангов, мобилизации и транспортировки нефтепродуктов в точки сбора.
Смыв горячей водой	Необходимо предварительно подогреть воду до температуры 25-35 °С, чтобы понизить вязкость нефтепродуктов и оптимизировать процесс. Данный метод обеспечивает безопасность и помогает сохранить растительные организмы в почве и животных.
Уборка граблями	Применяется при больших слоях нефти на поверхности грунта.
Очистка резиновыми скребками	Применяются скребки из резины для ликвидации нефтяных проливов и транспортировки её в места сбора.
Механическое снятие грунта	Применяется с помощью техники для удаления замазученных материалов с удалением некоторого слоя грунта.
Откачка	Используются автоцистерны для перевозки, в них перекачиваются нефтепродукты с использованием различных электронасосов.
Нефтесборщики	Применяются различные типы скиммеров, которые предназначены для сбора нефти различной вязкости с водной поверхности.
Зумпф	В районах сбора нефти на склонах вырываются небольшие углубления.
Вакуумная откачка	Производится с использованием передвижных вакуумных насосов, шлангов и емкостей для откачки нефти с поверхности воды.
Сжигание	Сжигание производится для удаления нефтепродуктов с поверхности грунта и воды для утилизации её после сбора. Чтобы поджечь используются факелы. Необходимо соблюдать меры предосторожности и безопасности.
Водоотводящие каналы	Устанавливаются в зимне-весенний период для отвода грунтовых вод на переувлажненных участках.

### 1.1.3 Физико-механические свойства мерзлых грунтов

Поверхностный слой вечномёрзлых грунтов подвергается сезонному оттаиванию и промерзанию. Мощность деятельного слоя зависит от интенсивно-

сти и продолжительности прогревания поверхности и меняется от 0,2-0,3 м (в высоких широтах) до 3-4 м (на широте 55-60°).

Глубина сезоннооттаивающего слоя неодинакова в грунтах различного состава и влажности. Наибольшим протаиванием характеризуются скальные щебенистые грунты, наименьшим глинистые.

Температура на поверхности грунта отличается от температуры наружного воздуха, так как летом солнечная радиация повышает температуру поверхности, а зимой снежный покров защищает её от охлаждения.

Производительность машин по разработке мёрзлых грунтов в значительной степени зависит от прочности, глубины промерзания, гранулометрического состава и других характеристик мёрзлых грунтов.

Распределение температуры грунтов по глубине залегания в зимний период для различных зон страны неодинаково.

На рисунке 1.4 представлены схематическая карта, разделённая на семь зон промерзания мерзлых грунтов по показателю  $A_{\text{п}}$ , учитывающего характеристики промерзания грунтов в различных районах, формула (1.1):

$$A_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n (H_{\text{п}i} \cdot \sqrt{t_i}) \quad (1.1)$$

где  $t_i$  – среднее абсолютное значение температуры за каждый зимний месяц;

$H_{\text{п}i}$  – глубина промерзания грунта в каждом зимнем месяце;

$n$  – количество месяцев, в течение которых грунт имеет отрицательную температуру.

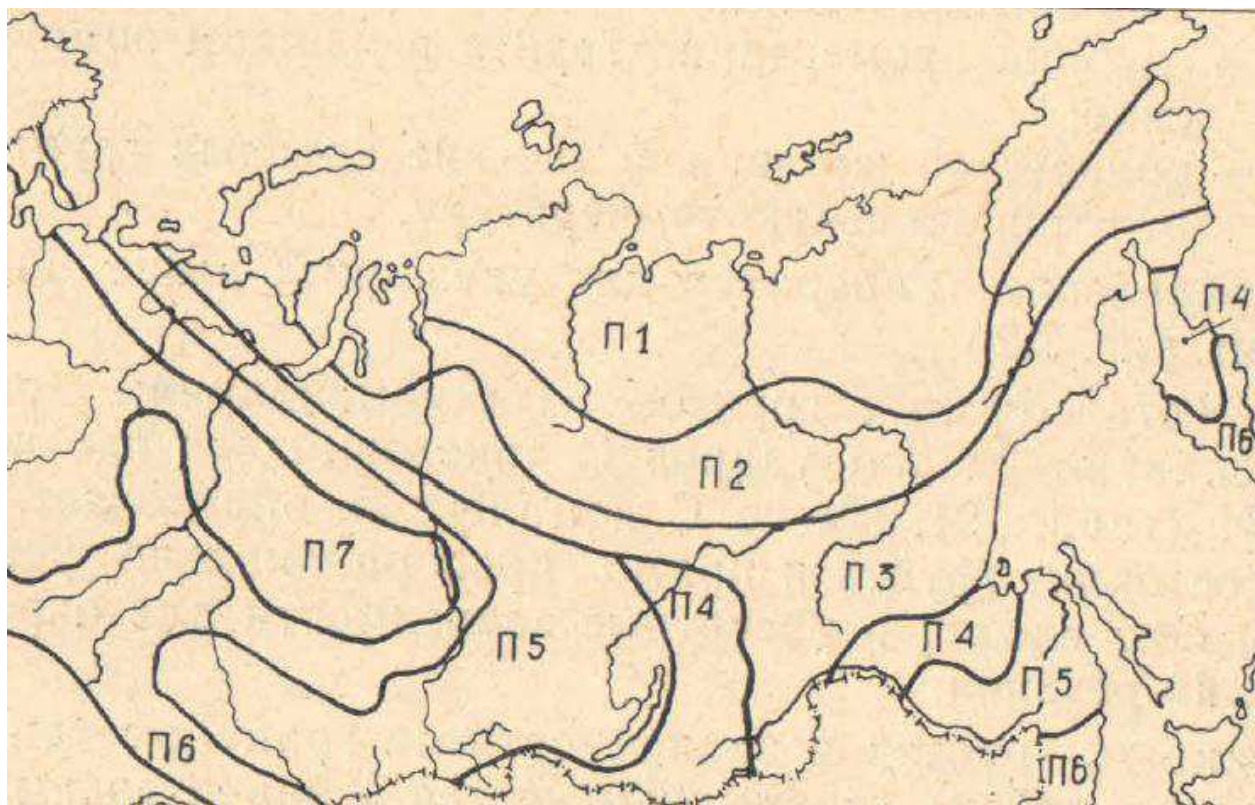


Рисунок 1.5 – Схематическая карта районирования мёрзлых грунтов по условиям промерзания

В таблице 1.2 показано время наличия мерзлых грунтов в зависимости от районов по рисунку 1.5.

Таблица 1.2 – Время наличия мерзлых грунтов (в месяцах) по районам

Индекс района	$A_n$	Глубина разработки, м				
		1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
П1	70-110	10	11		12	
П2	50-70	9		10	11	12
П3	30-50	7		8		11
П4	20-30	6	7		8	
П5	10-20			5-6		
П6	5-10			4-5		
П7	2-5					

Прочность мёрзлых грунтов оценивают числом ударов  $C$  динамического плотномера ДорНИИ. Число  $C$  комплексно, определяет физическое состояние грунта и прямо пропорционально усилиям резания. Оно входит в расчёт зави-



симости для определения усилий резания.

В основу принятой классификации грунтов по группам трудности их разработки, предложенной профессором А. Н. Зелениным, положен показатель — прочность грунтов по числу ударов специального плотномера — ударника ДорНИИ. Ударник ДорНИИ представляет собой простейший прибор по типу забиваемого стержня. Стержень погружается в грунт под действием ударов падающей гири. Масса гири 2,5 кг, высота ее падения 400 мм, площадь сечения стержня 1 см<sup>2</sup>, глубина погружения 100 мм (рисунок 1.6).

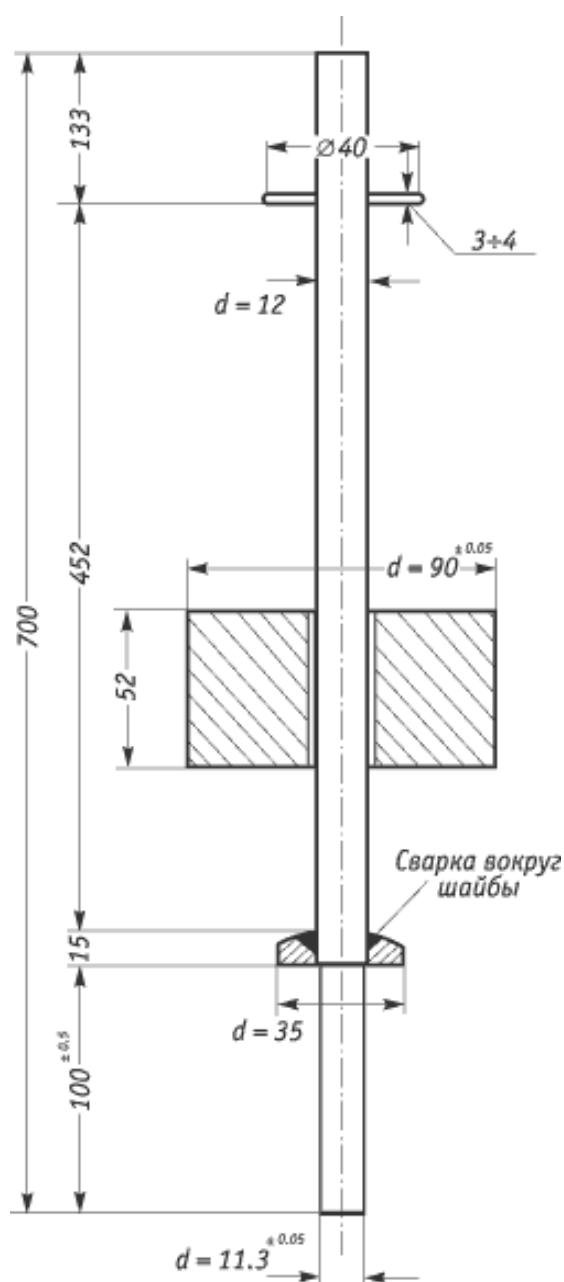


Рисунок 1.6 – Плотномер (ударник) ДорНИИ

Достоинство ударника ДорНИИ — простота оценки прочности грунта, недостаток классификации грунтов по показаниям ударника ДорНИИ — условность оценки разрабатываемого грунта по одним прочностным показателям независимо от типа рабочего оборудования. Некоторые исследователи на основе обработки и обобщения результатов экспериментов рекомендуют корреляционные зависимости между числом Ударов ударника ДорНИИ и удельным сопротивлением резанию и копанию.

Начиная расчёт и проектирование оборудования для разработки мерзлого грунта необходимо учитывать определенные физико-механические свойства мерзлых грунтов с разливами нефти.

Мёрзлые грунты – грунты, которые имеют нулевую или отрицательную температуру, часть, имеющаяся в ней вода приняла твёрдое агрегатное состояние, т.е. превратилась в лёд [11].

Мерзлый грунт представляет собой четырёхфазную систему, которая состоит из твердых минеральных частиц, связующего вещества (льда), воздуха и воды, в нашем же случае добавляется ещё одна фаза - нефть. Промерзание грунтов обязательно сопровождается целым рядом физико-химических процессов, которые сказываются на их свойствах и структуре.

Когда грунт промерзает, вода, которая находится в его порах при определенной температуре (в грунтовой воде первые кристаллы льда, определяющие начало замерзания, образуются при температуре минус  $0,1^{\circ}\text{C}$ , а абсолютное замерзание случается при температуре минус  $0,5-0,6^{\circ}\text{C}$ ) переходит из жидкого состояния в твёрдое, который компонует частицы грунта в один общее целое, в следствие чего прочность повышается в десятки раз.

Удельное сопротивление резанию для не мерзлого грунта составляет  $K=2-3\text{кГ/см}^2$ , для мерзлого же грунта, температура которого минус  $10^{\circ}\text{C}$  оно достигает  $300\text{ кГ/см}^2$ . Объём льда в мёрзлом грунт находится в прямой зависимости от влажности грунта, времени промерзания и температуры, увеличение этих параметров влечёт за собой большее количество льда в грунте и повышение прочности.

Сухой песок, который не имеет в своём составе большого количества влаги, замерзая остаётся сыпучим и рыхлым.

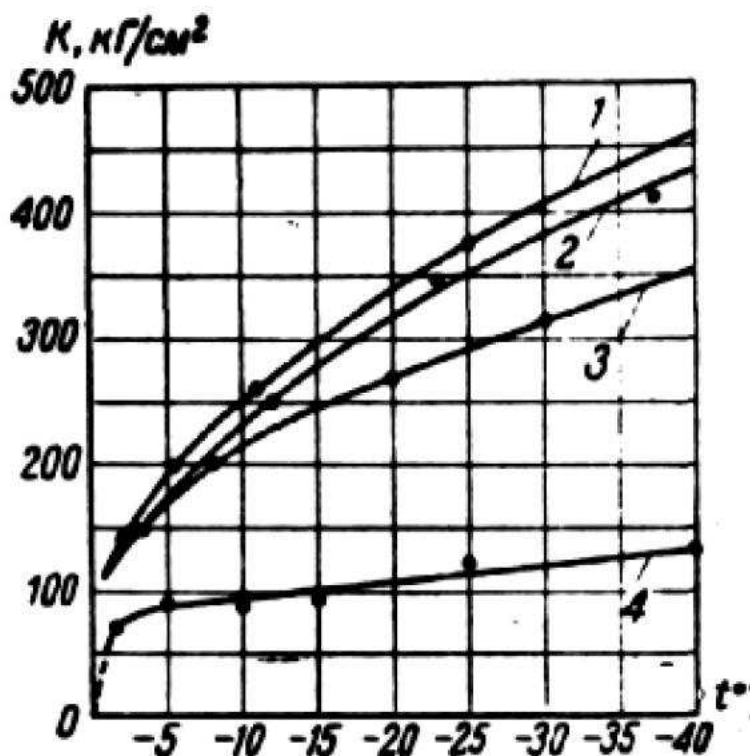
Пластичность, электропроводность грунтам придаётся за счёт содержания в них частичек незамерзшей воды, это содержание влияет на физико-механические свойства.

Деформация мёрзлых грунтов, её характер, главным образом зависит от гранулометрического состава, температуры и влажности, также влияет скорость приложения и величина нагрузки. Отсюда деформация грунтов может быть пластичной и хрупкой.

При температуре от минус  $1,0^{\circ}\text{C}$  до минус  $7^{\circ}\text{C}$  преобладают пластические деформации, с понижением температуры грунт приобретает хрупкость.

Существенное влияние на свойства мерзлых грунтов оказывает скорость возрастания нагрузки. Как показали опыты отдельных исследователей [12,13], большие скорости возрастания нагрузки приводят к повышению сопротивления мерзлого грунта сжатию. Сопротивление грунтов сжатию является основным показателем физико–механических свойств мерзлых грунтов.

Прочность мерзлых грунтов, сопротивляемость их резанию, отколу и прочим деформациям зависит не только от температуры, но и влажности грунта. На рисунке 1.7 приведены результаты исследований проф. д.т.н. А.Н.Зеленина [14] по определению зависимости удельного сопротивления мерзлого грунта резанию  $K$  от температуры грунта (исследования проводились при блокированном резании стружки постоянного сечения шириной  $S=3$  см, глубиной  $h=1$  см и угле резания  $\alpha=90^{\circ}$ ).



1 - суглинок,  $\omega = 20,4\%$ ; 2 - супесь,  $\omega = 15,2\%$ ; 3 - глина,  $\omega = 31,2\%$ ; 4 - песок,  $\omega = 11,4\%$ .

Рисунок 1.7 – Зависимость удельных сопротивлений резанию от температуры в грунтах различного гранулометрического состава

Со снижением температуры механическая прочность грунта повышается, а сопротивление мерзлого грунта разрыву в несколько раз меньше, чем сжатию. Следовательно, мерзлые грунты по-разному сопротивляются различным видам деформации.

Кроме большой механической прочности, мерзлые грунты имеют еще и значительные абразивные свойства, что сильно затрудняет их разработку резанием. В значительной степени интенсивность абразивного износа инструмента определяется абразивностью мерзлых грунтов, поэтому абразивность следует считать, как одно из основных физико-механических свойств мерзлых грунтов.

Сегодня существуют две различные точки зрения на состояние нефти в дисперсных грунтах. Согласно более ранней принимается, что образуется эмульсия из части компонентов нефти, которая растворяется в жидком компоненте грунтов или смешивается с ней, но основная часть нефти представляет

собой несмешивающуюся с водой жидкую фазу. В связи с этими данными исследователями принимается, что во влагонасыщенных грунтах нефть занимает центральную часть поры и не имеет контакта с минеральными частицами. В маловлажных грунтах часть нефти может соприкасаться с минеральными частицами и сорбироваться их активными центрами [15].

Т.Т. Клубова [16], которая исследовала контактные явления, протекающие на границе нефть - минеральная масса коллектора, сделала вывод, что ведущий механизм взаимодействия минералов осадочных пород и органического вещества - сорбция органических ионов или радикалов поверхностью минералов именно теми ее участками, где вследствие дефектов в структуре создается дефицит положительных зарядов. "Заключенная между минеральными частицами остаточная вода имеет структуру льда. В пустоты этой ледяной пленки входят молекулы углеводородов нефти, заполняя их".

В.А. Королев определил иную точку зрения [17, 18]: растворенные в воде нафтеновые кислоты и другие полярные компоненты нефти, содержащие молекулы кислорода, серы, азота и др., могут диффундировать через пленки связанной воды дисперсных пород и вытеснять воду из активных центров минеральных частиц и адсорбироваться на поверхности глинистого грунта.

Экспериментальным доказательством [19] этого может послужить повышение теплопроводности грунтов при загрязнении их нефтепродуктами вследствие вытеснения загрязнителем менее теплопроводного воздуха. Точно предвидеть влияние нефти на свойства дисперсных грунтов сложно, потому что огромное значение имеет гранулометрический и минеральный состав грунтов и свойства самой нефти, и степень загрязнения грунтов нефтью. Еще сложнее предсказать влияние нефти на изменение механических свойств дисперсных грунтов. В.А. Королев [18] говорит о том, что, с одной стороны, возможно понижение деформируемости загрязненных грунтов, потому что загрязнитель делает прочнее контакты между структурными элементами, способствует набуханию глинистых минералов, закрывая поры и преграждая отжатию поровой воды.

С другой стороны, возможно увеличение деформируемости при снижении прочности контактов за счет эффекта Ребиндера, а также при растворении цементирующего вещества и при уменьшении трения на контактах частиц. При этом необходимо учитывать и свойства самого загрязнителя, так как, например, легкие нефтепродукты, имеющие вязкость меньшую, чем вязкость воды, понижают вязкость грунта.

Перемещение нефти в мёрзлых грунтах и ее влияние на изменение их свойств в научной литературе освещены недостаточно полно. К настоящему времени выяснено, что нефть не только накапливается в верхнем слое почвы, но и движется внутри мерзлого грунта не единым фронтом, а отдельными фракциями с разной скоростью [20, 21]. Изменяется механизм переноса компонентов нефти. Объемный перенос нефти под действием капиллярных сил по сплошным поровым каналам и микротрещинам преобладает в мерзлых грунтах с неполной степенью заполнения пор льдом и незамерзшей водой. В грунтах, где заполнены поры, растворимые в воде компоненты нефти мигрируют по пленкам незамерзшей воды, что экспериментально подтверждается увеличением в 5 раз интенсивности переноса углеводородных компонентов в глинистых грунтах по сравнению с песчаными, что объясняется увеличением содержания незамерзшей воды в более дисперсных глинах [21].

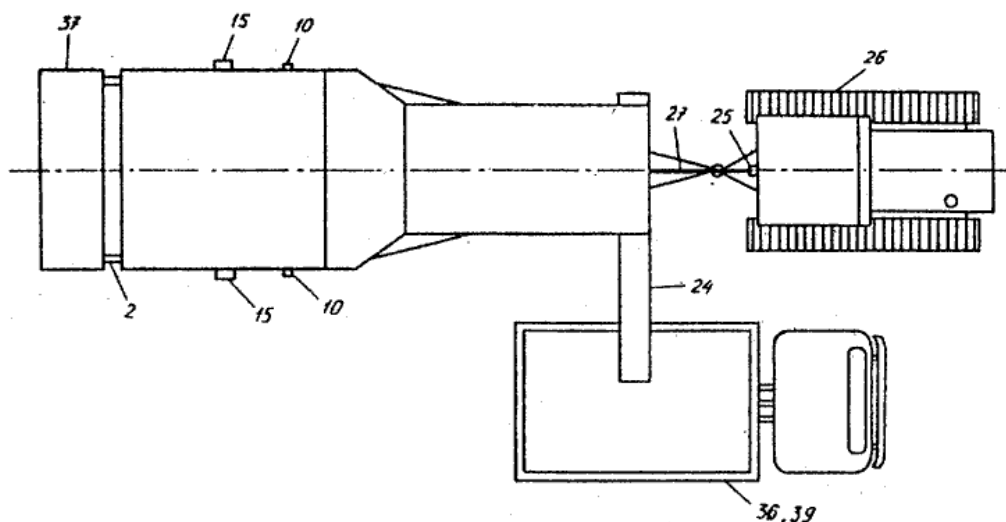
## **1.2 Патентный обзор**

### **1.2.1 Устройство для снятия верхнего слоя зараженного грунта - Авторское свидетельство SU1710672**

Устройство предназначено для послойного срезания грунта. Целью изобретения является повышение надежности путем автоматической защиты элементов устройства от поломок.[22]

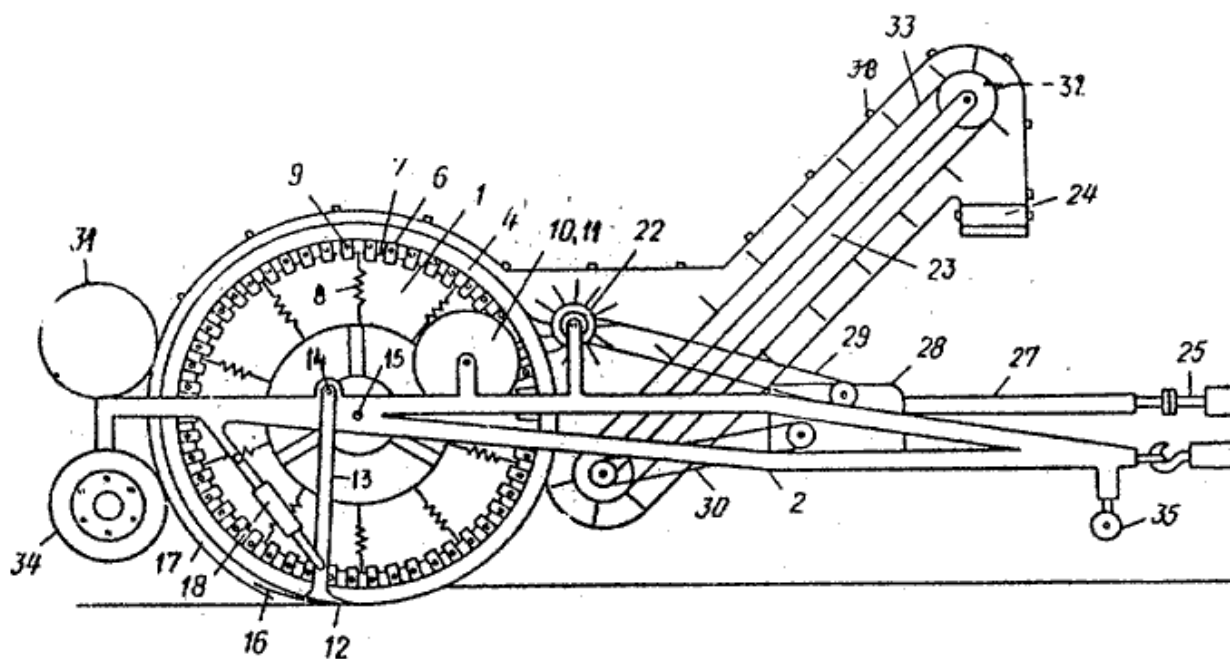
Устройство содержит соединенную с базовой машиной раму 2, на кото-

рой смонтирован барабан 1 с горизонтальной осью 15 и радиальными ножами 3. На раме 2 шарнирно расположены радиальные опоры 13, соединенные подрезным ножом 12, содержащим режущую кромку и подошву. Ось 14 поворота опор 13 расположена выше и сзади оси 15. При вертикальном расположении опор 13 режущая кромка подрезного ножа расположена ниже режущих кромок ножей. Радиальные опоры 13 шарнирно связаны с рамой 2 посредством гидроцилиндра 18, шток которого соединен с опорой 13 с возможностью автоматического возвратно-поступательного перемещения. При работе слой грунта разрезается ножами, подрезается ножом с подошвой и поднимается по кожуху 17. Грунт, расположенный между ножами выталкивается планками, которые связаны канатом 7, соединенным пружинами 8 с барабаном 1. Конвейером 23 грунт транспортируется в транспорт. В исходном положении опора 13 от поворота удерживается штоком гидроцилиндра 18. При попадании твердого включения под нож 12 последний отклоняется, а шток входит в гидроцилиндр 18. После прохода твердого включения нож 12 автоматически возвращается в исходное положение. На рисунках 1.8, 1.9 представлена схема устройства.



2- рама; 10 - вращающиеся диски; 15 - ось; 24 - боковой транспортер; 25 - вал отбора мощности; 26 - трактор; 27 - карданный вал; 36 - самосвал; 37 - бак с водой;

Рисунок 1.8 – Устройство для снятия верхнего слоя зараженного грунта, вид сверху.



1 - барабан; 2 - рама; 4 - кольцевые ножи; 6 - отростки планок; 7 - тросовая связь; 8 - пружины; 9 - толкатели; 10, 11 - вращающиеся диски; 12 - подрезной нож; 13 - радиальные опоры; 14 - ось поворота опор; 15 - ось; 16 - крыло ножа; 17 - кожух; 18 - гидроцилиндр; 22 - привод бitera; 23 - главный конвейер; 24 - боковой транспортер; 25 - вал отбора мощности; 27 - карданный вал; 28 - редуктор; 29, 30 - цепные передачи; 31 - редуктор; 32 - поворотный вал; 33 - транспортерная лента; 34 - колесная пара; 35 - передняя колесная опора; 38 – форсунки

Рисунок 1.9 - Устройство для снятия верхнего слоя зараженного грунта, вид сбоку

#### Достоинства:

- устройство позволяет снимать тонкий верхний слой грунта вместе с растениями копируя рельеф его поверхности;
- благодаря системе устранения заклинивания обладает повышенной надежностью.

#### Недостатки:

- большие габаритные размеры
- малая мобильность;
- малая эффективность работы с мёрзлым грунтом.



### **1.2.2 Машина для послойного фрезерования горных пород- RU2098565**

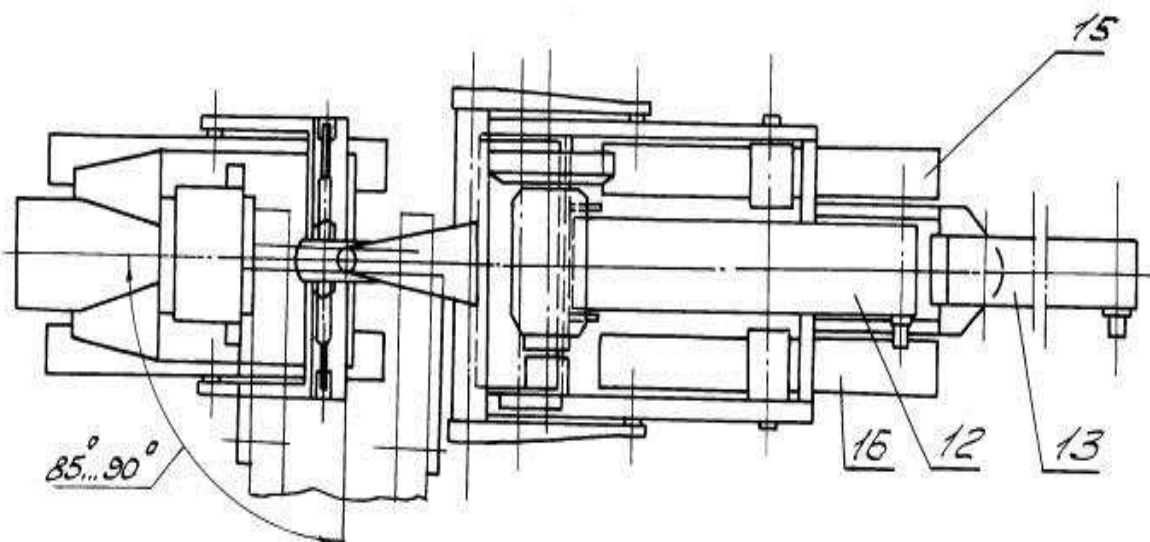
Изобретение относится к горнодобывающим машинам типа карьерных комбайнов, в частности, для послойного фрезерования пород. Работает машина для послойного фрезерования горных пород следующим образом. Для зарезания в разрабатываемую породу вращающаяся фреза 9 опускается органами управления 11 ниже уровня опорной поверхности, и машина начинает движение вперед. Разрабатываемый материал подается на приемный транспортер 12, затем на разгрузочный транспортер 13, с которого материал загружается в транспортер или в штабель. На рисунках 1.10, 1.11, 1.12 показаны общий вид машины [23].

Достоинства:

- возможно упрощение конструкции машины, предназначенной для работы на породах невысокой прочности;
- использование серийно выпускаемых элементов конструкции.

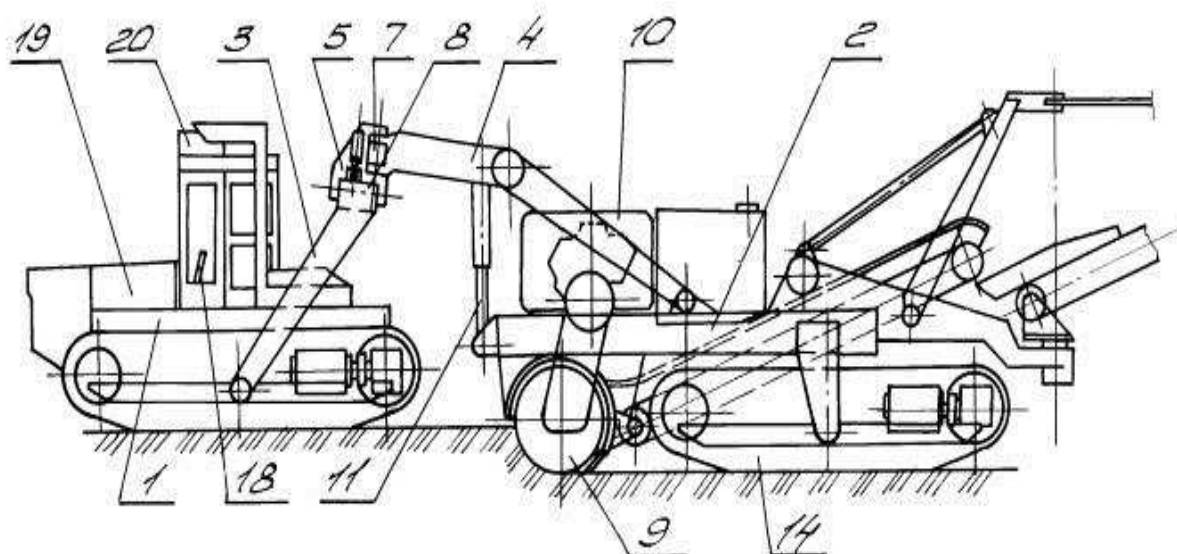
Недостатки:

- большие габаритные размеры;
- малая мобильность.



12 - приемный транспортер; 13 - разгрузочный транспортер; 15,16 - задние ходовые гусеничные тележки

Рисунок 1.10 – Общий вид сверху машины для фрезерования



1 - гусеничный трактор; 2 - основная рама; 3 - упряжная тяга; 4 - П-образная тяговая рама; 5 - соединительный кронштейн; 7 - вертикальный шарнир; 8 - горизонтальный шарнир; 9 - фреза; 10 - энергетическая установка; 11 - органы управления; 14 - движитель; 18 - механизм управления; 19 - двигатель; 20 – кабина

Рисунок 1.11 – Общий вид сбоку машины для послойного фрезерования горных пород

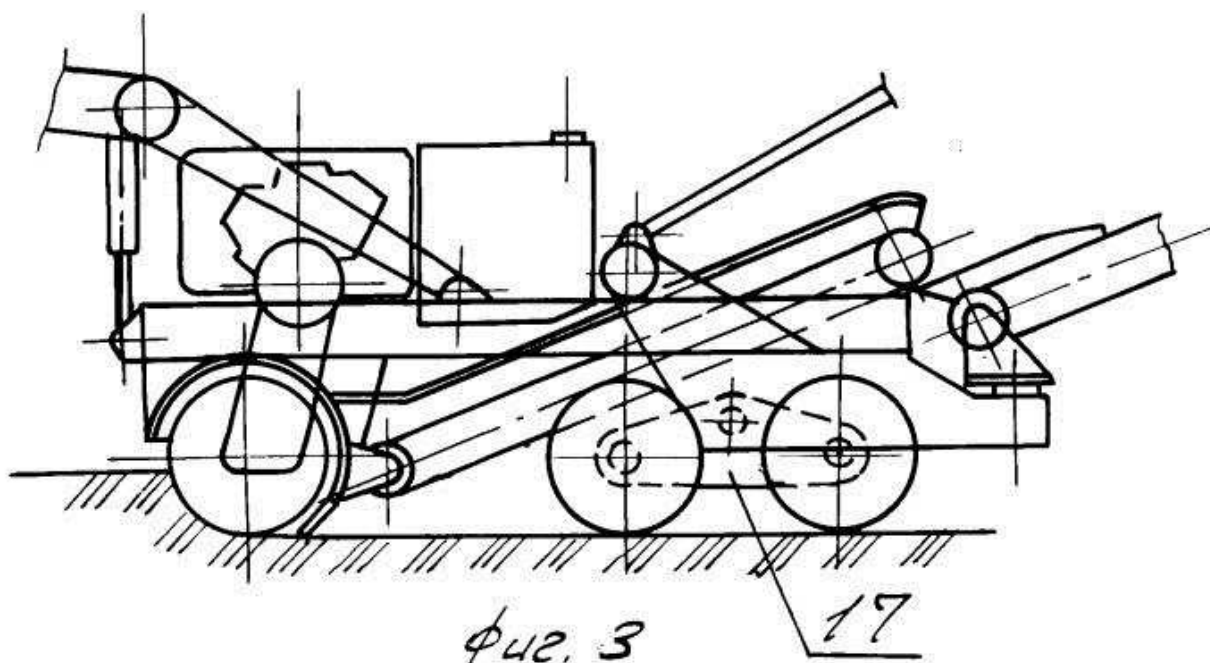


Рисунок 1.12 – Вид с задними балансирами

### **1.2.3 Способ очистки земной поверхности от нефти и нефтепродуктов в зимний период - RU2317161**

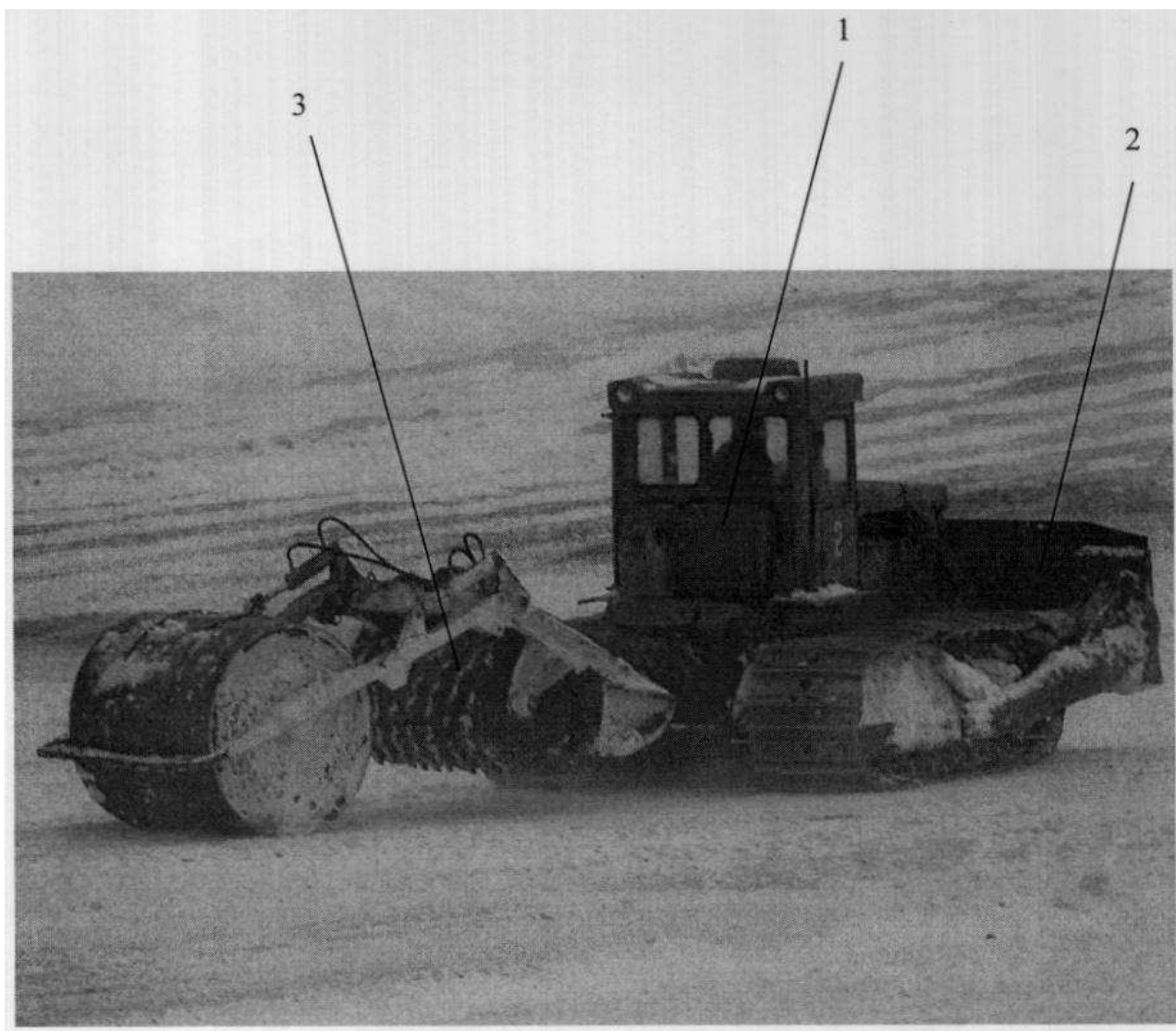
Изобретение относится к защите окружающей среды, а именно к способам очистки земной поверхности от нефти и нефтепродуктов, и может быть использовано при ликвидации последствий аварийных разливов, на территориях нефтедобывающих производств. Способ очистки включает удаление нефтезагрязнения, причем очистку проводят в зимний период, удаление нефтезагрязнения осуществляют посредством фрезерования поверхностного слоя на глубину ниже уровня загрязнения с последующим сбором и вывозом отфрезерованных мерзлых загрязненных кусков грунта (почвы) к месту хранения или переработки. В весенне-летний период осуществляют подкормку очищенной земной поверхности удобрениями. Переработку загрязненного грунта осуществляют посредством отмывки раствором неионогенного поверхностно-активного вещества с последующим возвратом отмытого грунта на участок. Данный способ позволяет полностью удалить нефтезагрязнение с земной поверхности,

осуществить работы по очистке загрязненных почв в течение одного зимнего сезона (почти 8 месяцев для районов Крайнего Севера), что исключает попадание нефти в водные объекты в период весеннего паводка, производить очистку при минимальном воздействии техники на почвенно-растительный слой, ускорить процесс рекультивации нарушенных земель [24].

На рисунке 1.11 изображен агрегат для очистки поверхности от загрязнений нефтью и нефтепродуктами в зимний период.

Агрегат включает базовый гусеничный трактор 1 с установленным на нем ножом 2 с механизмом привода. Сзади трактора 1 навешивается фреза 3 с опорным катком, оборудованная механизмом привода. Диаметр фрезы составляет 120 см, максимальная глубина фрезерования - 0,5 м, ширина захвата - до 1,7 м.

Перед очисткой поверхности фрезу регулируют на глубину срезки. Фрезерование промерзшей поверхности осуществляют на глубину ниже пропитанного нефтью почвенно-растительного слоя до чистого грунта (почвы). Фреза полностью снимает с поверхности застывший замазученный слой вместе с мороженой не пропитанной нефтью землей. Отфрезерованную поверхность очищают с помощью бульдозера, загрязненные куски грунта (почвы) сгребают в кучи и вывозят к месту хранения или переработки.



1 - гусеничный трактор; 2 - нож с механизмом привода; 3 - фреза

Рисунок 1.13 – Агрегат для очистки поверхности от загрязнений нефтью и нефтепродуктами в зимний период

Достоинства:

- работа в районах Крайнего Севера.

Недостатки:

- малая мобильность;
- большие габаритные размеры.

По итогам первой главы был проведён обзор аварий при транспортировке нефти, основные причины возникновения аварий на магистральных нефтепро-

водах. Приведены способы устранения последствий аварийных разливов нефтепродуктов на воде, суше, заболоченных местностях с помощью механизированного сбора с применением сорбентов и диспергентов. Был проведён анализ поверхностного слоя мёрзлого грунта, выявлены его механические и физические свойства, влияние нефтепродуктов на изменения данных свойств, механизм переноса нефти внутри грунта. Проведён патентный обзор на существующие способы устранения нефтяных проливов.

## **2 Расчет и выбор рациональных параметров резцов**

### **2.1 Выбор инструмента. Определение мощности резания**

Разрушение грунта фрезерным рабочим органом осуществляется при помощи двух относительно независимых движений фрезы – вращательного и поступательного.

а) – схема попутного (обратного) фрезерования, когда движение резца в зоне резания начинается от края забоя и разрабатывается примерно до его середины;

б) – схема встречного (прямого) фрезерования, когда движение резца начинается от середины забоя.

Второй способ обладает некоторыми преимуществами перед первым, а именно:

1. нагрузка на резце, связанная с увеличением толщины снимаемой стружки, обусловлена движением машины вперёд, нарастает постепенно;
2. вертикальная составляющая реакции грунта направлена вперед, что обеспечивает дополнительное прижатие рабочего органа к разрабатываемой поверхности, что положительно влияет на динамику движения машины;
3. вынос стружки осуществляется на дневную поверхность забоя, значительно уменьшая количество частиц грунта в зоне забоя.

Следует отметить, что схема обратного фрезерования имеет единственное преимущество – для обеспечения рабочего процесса требуется меньшее значение тягового усилия. При этом следует помнить, что в этом случае просто происходит перераспределение усилий с рабочего оборудования на движитель и наоборот, а суммарный энергетический баланс машины остается неизменным.

Расположение фрезы относительно мёрзлого грунта характеризуется углом  $\gamma$  между линией, соединяющей точку контакта фрезы с боковой поверхности забоя с центром фрезы и вертикальной осью той же фрезы. Минимальное

значение данного угла определяется конструкцией машины и соответствует максимальному заглублению рабочего органа в мёрзлый грунт.

Рабочие органы для разработки мёрзлых грунтов оснащают резцами, которые в зависимости от конструкции и назначения машин могут устанавливаться непосредственно на фрезерном рабочем органе.

При фрезеровании мерзлого грунта в режимах работы дисковых фрез пластические деформации, как правило, не успевают происходить, и разрушение носит хрупкий характер. В этих условиях предел упругости и предел прочности мерзлого грунта близки друг к другу. На этом основании к расчету сил резания можно подойти, используя теорию О. Мора. Он дал общую формулировку условия, при котором начинается пластическая деформация или хрупкое разрушение. По его теории- это состояние наступает тогда, когда касательное напряжение в плоскостях сдвига достигает предельной величины (зависящей от нормальных напряжений  $\sigma$  в плоскости сдвига) или, когда наибольшее напряжение растяжения достигает предельного значения для данного материала.

Теория разработки прочных грунтов и минералов отмечает, что сила резания зависит не только от площади, угла и скорости резания, но и от степени свободы боковых поверхностей среза.

Траектории резания грунта резцами образуются в результате сочетания поступательного движения базовой машины со скоростью  $V_n$  и вращательного движения фрезы с угловой скоростью  $\omega$ .

Дальнейший расчёт будем производить на основе материала учебного пособия И.И. Родина [25, с. 104].

Определение толщины среза грунта резцами в расчетном положении рабочего органа, когда на него действуют максимальные нагрузки.

В связи с тем, что траектории резания образуются в результате сочетания поступательного движения инструмента со скоростью  $V_n$  и вращательного движения фрезы с угловой скоростью  $\omega$ , при больших скоростях толщину стружки с учетом рекомендаций работы [26] определяют по формуле (рис 2.1):



$$h \approx h_0 \sin(\arctg k) \quad (2.1)$$

ИЛИ

$$h \approx h_0 \frac{k}{\sqrt{1+k^2}} \quad (2.2)$$

$$h_0 = \frac{2\pi r_0}{n_p}; \quad (2.3)$$

$$r_0 = \frac{V_n}{w}; \quad (2.4)$$

где  $n_p$  – количество резцов в линии резания;

$$h = \frac{R \cdot \sin \varphi}{\frac{V_n}{w} + R \cdot \cos \varphi}, \quad (2.5)$$

где  $\varphi$  – угол поворота из начального положения;

$R$  – радиус фрезы до режущих кромок.

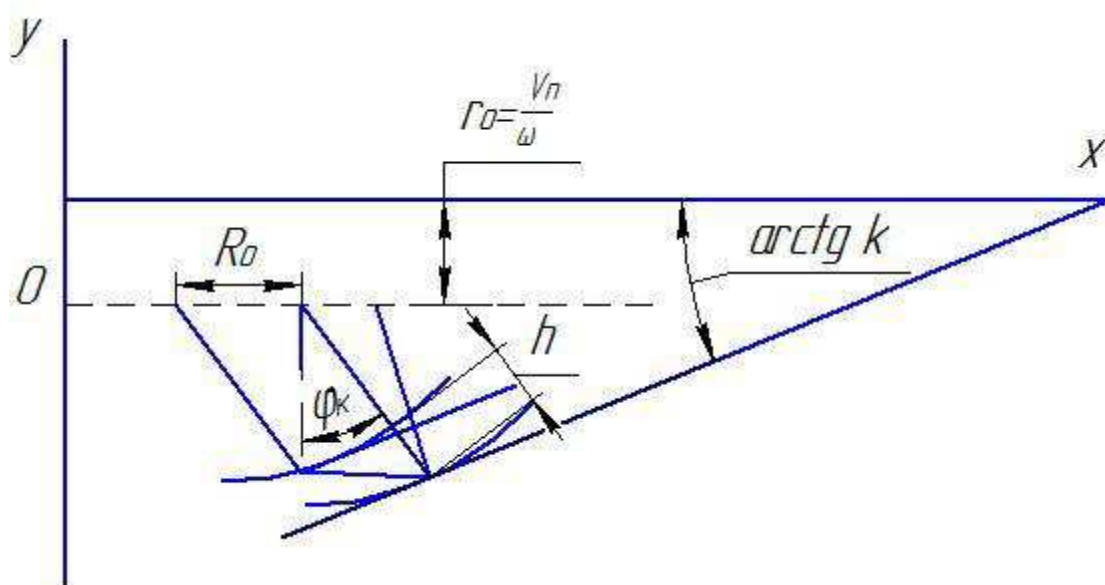


Рисунок 2.1 – Схема к определению толщины стружки

При разработке фрезерным инструментом прочных мерзлых грунтов скорость подачи значительно меньше скорости резцов рабочего органа, поэтому с необходимой для практических расчетов точностью можно принять, что скорость резания в разных точках траектории одинакова; толщину стружки для каждого из резцов в этом случае определим по формулам.

На рисунке 2.2 показана схема усилия резания.

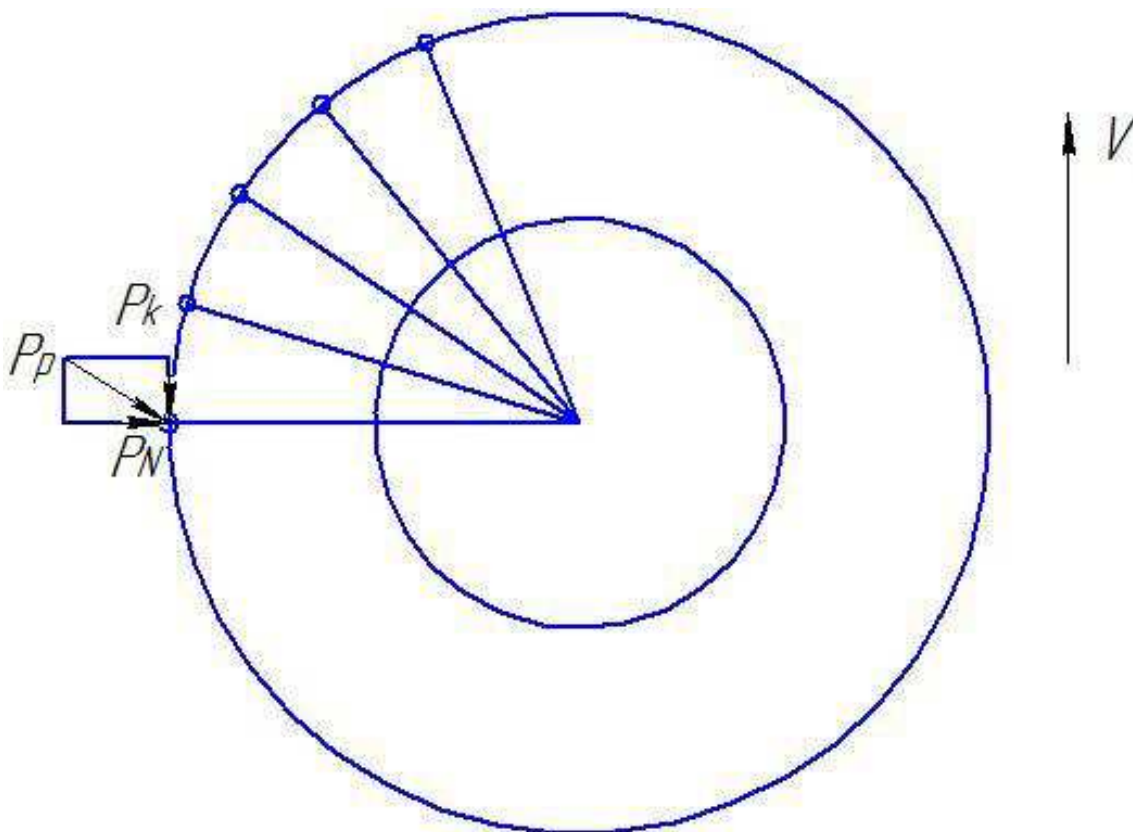


Рисунок 2.2 – Схема усилия резания

Для фрезерного рабочего органа:

$$h_i = \frac{\pi \cdot D \cdot V_{\text{п}}}{n_p \cdot 3600 \cdot V} \cdot \sin \varphi \quad (2.6)$$

где  $h_i$  – толщина стружки, мм;

$\varphi$  – угол, определяющий положение резца на траектории его движения от-

носителем вертикали.

Так как в проектируемом инструменте планируется расположить 3 линии резания по 5 резцов, угол между ними  $17^\circ$ .

В связи с тем, что категории прочности грунтов изменяются в широком диапазоне в зависимости от внешних условий необходимо рассмотреть производительность на категориях прочности II, III, V. Анализ силовых параметров позволит определить производительность фрезерного оборудования в различных условиях эксплуатации.

По формуле (2.6) рассчитаем толщину стружки для  $i$ -го резца в линии резания при использовании в V категории прочности,  $D = 400$  мм;  $V_{\Pi} = 100$  м/ч;  $n_p = 5$ ;  $V = 1,5$  м/мин;  $\varphi = 17^\circ$ :

$$h_1 = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 100}{5 \cdot 3600 \cdot 1,5} \cdot \sin 17^\circ = 1,36 \text{ мм};$$

$$h_2 = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 100}{5 \cdot 3600 \cdot 1,5} \cdot \sin 34^\circ = 2,60 \text{ мм};$$

$$h_3 = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 100}{5 \cdot 3600 \cdot 1,5} \cdot \sin 51^\circ = 3,62 \text{ мм};$$

$$h_4 = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 100}{5 \cdot 3600 \cdot 1,5} \cdot \sin 68^\circ = 4,31 \text{ мм};$$

$$h_5 = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 100}{5 \cdot 3600 \cdot 1,5} \cdot \sin 85^\circ = 4,63 \text{ мм}.$$

Определение координаты положения отдельных резцов рабочего органа относительно поверхности грунта:

$$H_i = \frac{D(\cos \varphi_i - \cos \varphi'_k + \sin \varphi''_k)}{2}, \quad (2.7)$$

где  $\varphi'_k$ ,  $\varphi''_k$  - углы контакта фрезерного рабочего органа с забоем (рис 2.3).

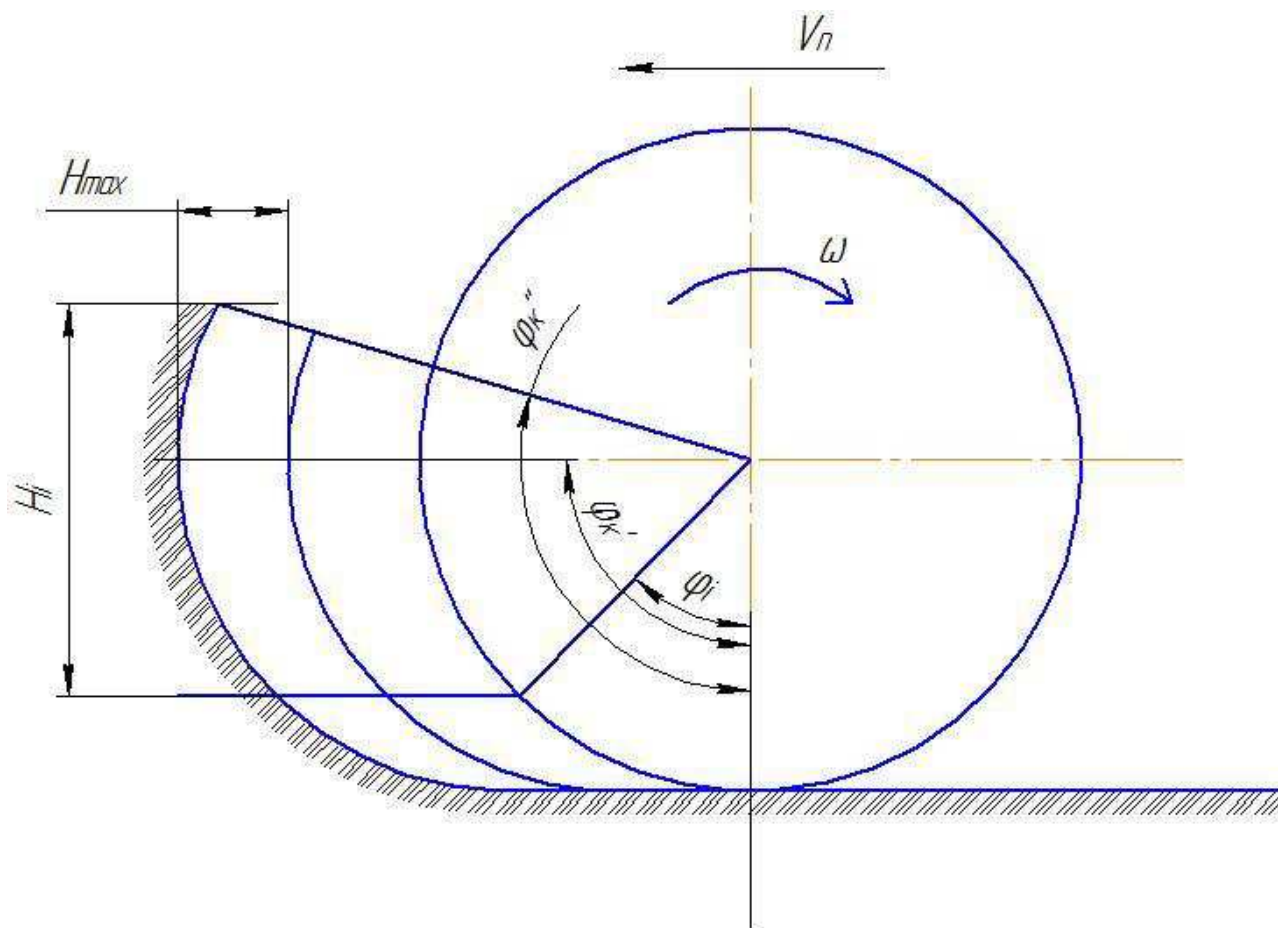


Рисунок 2.3 – Схема к определению координат положения отдельных резцов относительно поверхности грунта

Расчёт среднемаксимальной величины касательной составляющей силы резания:

В основу расчёта положена формула профессора А.Н. Зеленина, в которую введены коэффициент влияния скорости резания  $K_v$  и коэффициент  $\mu$ , характеризующий влияние вида резания на сопротивление мерзлого грунта. Показатель степени при  $h$  по результатам обработки экспериментальных данных принят равным 1,2 [27].

С учётом сказанного расчётная формула имеет вид:

$$P_k = 10 \cdot C \cdot h^{1,2} (1 + 0,55b) \cdot \left(1 - \frac{90-\alpha}{150}\right) \cdot \mu \cdot \Delta \cdot K_v, \quad (2.8)$$

где  $C$  – количество ударов плотномера ДорНИИ в точке расположения резца в транше;

$h$  – толщина стружки, см;

$b$  – ширина резца, см;

$\alpha$  – угол резца, °;

$\Delta$  – коэффициент, учитывающий затупление резца ( $\Delta = 0,85 \div 2,0$ , для острого резца  $\Delta = 0,85$ , для слегка затупленного  $\Delta = 1,0$ );

$\mu$  – коэффициент, характеризующий влияние вида резания на сопротивление мерзлого грунта;

$K_v$  – коэффициент влияния скорости резания.

Коэффициенты  $\mu$  и  $K_v$  определяют по следующим расчетным зависимостям:

$$\mu = 0,48 + 0,373 \frac{t-b}{h} \text{ для средних резцов; } \quad (2.9)$$

$$\mu = 0,97 + 0,24 \frac{t-b}{h} \text{ для крайних резцов; } \quad (2.10)$$

$$K_v = (0,98 + 0,1v) \left[ 0,9 + 0,11 \left( \frac{t-b}{h} \right)^{0,5} \right] \text{ для средних резцов; } \quad (2.11)$$

$$K_v = (0,98 + 0,1v) \left[ 1,0 + 0,038 \frac{t-b}{h} \right] \text{ для крайних резцов; } \quad (2.12)$$

Формулы (2.9-2.12) справедливы в диапазоне изменения отношения  $\frac{t-b}{h}$  от 0 до  $3,8 \div 4,2$ .

При  $\frac{t-b}{h} = 4,2$  коэффициент  $\mu = 1,9 \div 2,32$ , а в формуле для подсчета  $K_v$  следует принимать  $\frac{t-b}{h} = 3,8 \div 4,2$ .

Приняв  $\mu = 2$ ;  $\Delta = 1$ ;  $\alpha = 40^\circ$ ;  $K_v = 1$ ;  $C = 100$  по ударнику ДорНИИ для мерзлого грунта. По формуле 2.8, получим касательную составляющую силы

резания для II категории:

$$P_{k1} = 10 \cdot 100 \cdot 0,136^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 128,3 \text{ кг};$$

$$P_{k2} = 10 \cdot 100 \cdot 0,260^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 279,3 \text{ кг};$$

$$P_{k3} = 10 \cdot 100 \cdot 0,362^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 415,6 \text{ кг};$$

$$P_{k4} = 10 \cdot 100 \cdot 0,431^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 512,3 \text{ кг};$$

$$P_{k5} = 10 \cdot 100 \cdot 0,463^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 558,3 \text{ кг}.$$

Расчёт для III категории,  $C = 150$ :

$$P_{k1} = 10 \cdot 150 \cdot 0,136^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 192,5 \text{ кг};$$

$$P_{k2} = 10 \cdot 150 \cdot 0,260^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 419,0 \text{ кг};$$

$$P_{k3} = 10 \cdot 150 \cdot 0,362^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 623,4 \text{ кг};$$

$$P_{k4} = 10 \cdot 150 \cdot 0,431^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 768,5 \text{ кг};$$

$$P_{k5} = 10 \cdot 150 \cdot 0,463^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 837,5 \text{ кг}.$$

Расчёт для V категории,  $C = 250$ :

$$P_{k1} = 10 \cdot 250 \cdot 0,136^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 320,8 \text{ кг};$$

$$P_{k2} = 10 \cdot 250 \cdot 0,260^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 698,3 \text{ кг};$$

$$P_{k3} = 10 \cdot 250 \cdot 0,362^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 1039,0 \text{ кг};$$

$$P_{k4} = 10 \cdot 250 \cdot 0,431^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 1280,8 \text{ кг};$$

$$P_{k5} = 10 \cdot 250 \cdot 0,463^{1,2}(1 + 0,55 \cdot 0,1) \cdot \left(1 - \frac{90-40}{150}\right) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 1395,8 \text{ кг}.$$

Вычисление средней величины касательной составляющей усилия резания. Средние силы резания отдельными резцами определяют по формуле:

$$P_c = P_k \cdot K_3, \quad (2.13)$$

где  $K_3$  – коэффициент энергоемкости.

Для средних резцов:

$$K_3 = \left[ 0,42 \cdot (1 - 0,00046C)(1 + 0,00513\alpha) + 0,0165 \left( \frac{t-b}{h} \right)^2 \right] \cdot (1 - 0,031V) \quad (2.14)$$

Для крайних:

$$K_3 = \left[ 0,49 \cdot (1 - 0,00046C)(1 + 0,0051\alpha) + 0,0447 \frac{t-b}{h} \right] \cdot (1 - 0,031V) \quad (2.15)$$

Формулы (2.14) и (2.15) справедливы в диапазоне изменения отношения  $\frac{t-b}{h}$  от 0 до  $3,8 \div 4,2$ ; при  $\frac{t-b}{h} > 4,2$  коэффициент  $K_3 = 0,7 \div 0,78$ .

Примем коэффициент эффективности  $K_3 = 0,7$ , и по формуле 2.13 получим средние силы резания:

II категория:

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 128,3 \cdot 0,7 = 89,81 \text{ кг;} \\ P_{c2} &= 279,3 \cdot 0,7 = 195,51 \text{ кг;} \\ P_{c3} &= 415,6 \cdot 0,7 = 290,92 \text{ кг;} \\ P_{c4} &= 512,3 \cdot 0,7 = 358,61 \text{ кг;} \\ P_{c5} &= 558,3 \cdot 0,7 = 390,81 \text{ кг.} \end{aligned}$$

III категория:

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 192,5 \cdot 0,7 = 134,8 \text{ кг;} \\ P_{c2} &= 419,0 \cdot 0,7 = 293,3 \text{ кг;} \\ P_{c3} &= 623,4 \cdot 0,7 = 436,4 \text{ кг;} \\ P_{c4} &= 768,5 \cdot 0,7 = 538,0 \text{ кг;} \\ P_{c5} &= 837,5 \cdot 0,7 = 586,3 \text{ кг.} \end{aligned}$$

V категория:

$$P_{c1} = 320,8 \cdot 0,7 = 224,56 \text{ кг;}$$

$$P_{c2} = 698,3 \cdot 0,7 = 488,81 \text{ кг};$$

$$P_{c3} = 1039,0 \cdot 0,7 = 727,3 \text{ кг};$$

$$P_{c4} = 1280,8 \cdot 0,7 = 896,56 \text{ кг};$$

$$P_{c5} = 1395,8 \cdot 0,7 = 977,06 \text{ кг}.$$

Определение средней силы резания рабочим органом:

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^n P_{ci}, \quad (2.16)$$

где  $P_{ci}$  – средняя сила резания  $i$ -м резцом.

По формуле 2.16 определяем среднюю силу резания рабочим органом:

Для II категории:

$$P_{cp} = 89,81 + 195,51 + 290,92 + 358,61 + 390,81 = 1325,7 \text{ кг}.$$

Для III категории:

$$P_{cp} = 134,8 + 293,3 + 436,4 + 538,0 + 586,3 = 1988,8 \text{ кг}.$$

Для V категории:

$$P_{cp} = 224,56 + 488,81 + 727,3 + 896,56 + 977,06 = 3314,3 \text{ кг}.$$

Вычисление мощности резания рабочим органом:

$$N = \frac{P_{cp} \cdot V}{1020}. \quad (2.17)$$

Для II категории:

$$N = \frac{1325,7 \cdot 1,5}{1020} = 1,95 \text{ кВт}.$$

Для III категории:

$$N = \frac{1988,8 \cdot 1,5}{1020} = 2,92 \text{ кВт}.$$

Для V категории:

$$N = \frac{3314,3 \cdot 1,5}{1020} = 4,87 \text{ кВт}.$$

В результате расчётов получена зависимость мощности резания рабочим органом от прочности разрабатываемого грунта (рисунок 2.4).



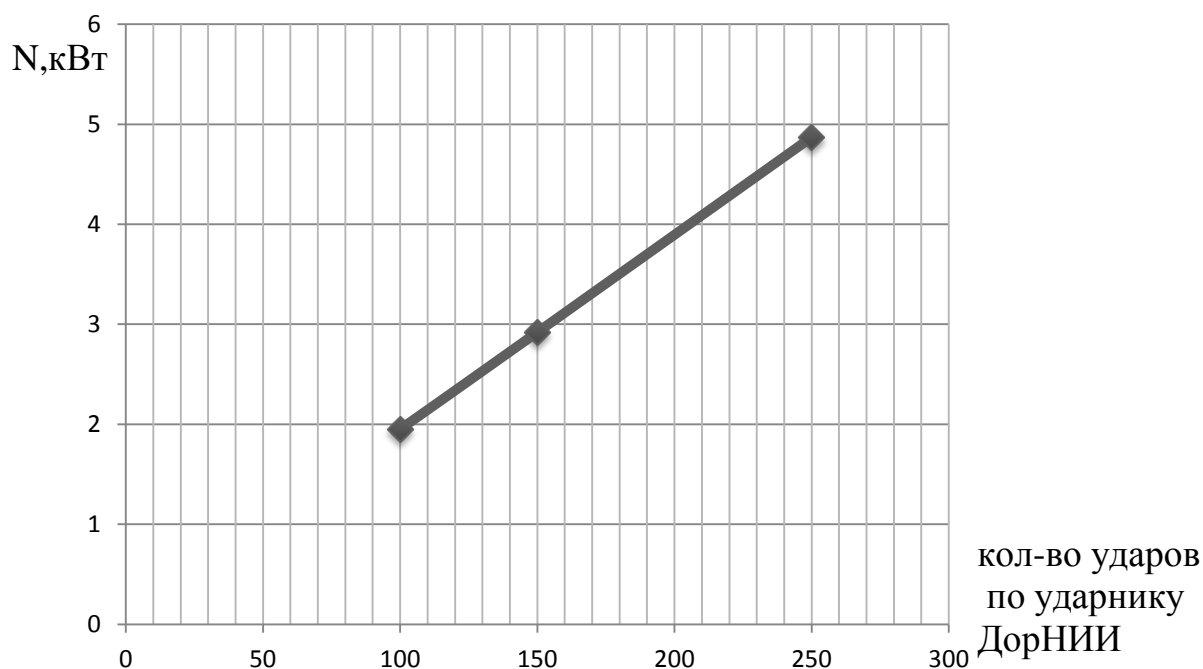


Рисунок 2.4 – График зависимости мощности резания от прочности грунта

Данный график показывает достаточную мощность для фрезерного органа при разработке прочных типов грунтов. При резании более мягких типов грунтов будет увеличение производительности за счёт увеличения поступательной скорости движения погрузчика, так как имеется запас мощности.

После проведения расчетов для различных сочетания варьируемых параметров и схем расстановки резцов (в зависимости от поставленной задачи) выбирают вариант, обеспечивающий наибольшую производительность при заданной мощности или наименьшую мощность при необходимой производительности машины. По этому варианту и проектируют рабочий орган.

## 2.2 Выбор параметров привода гидромотора

Исходными данными для определения параметров фрезерного инструмента являются эксплуатационная производительность, высота и глубина копа-

ния, радиус резания, геологические и климатические условия.

Для определения основных параметров машины и выполнения прочностных расчётов можно рекомендовать следующий порядок работ:

- по заданной эксплуатационной производительности определяют конструктивную (теоретическую) и техническую производительность;
- определяют минимальный диаметр фрезы, критическую и фактическую скорость;
- находят предварительную массу узлов агрегата;
- рассчитывают усилие, действующее на рабочий орган, и по нему вычисляют мощность;
- определяют мощность на перемещение грунта;
- вычисляют исходные нагрузки на узлы для расчета их на прочность;
- проводят статический расчёт и проверяют машину на уравнивание;
- выполняют прочностные расчёты.

Получив мощность  $N=4,87$  кВт, в пункте 2.1. Для привода вала рабочего инструмента выбираем гидромотор МГП 250, который удовлетворяет нашим требованиям.

Гидромотор аксиально поршневой нерегулируемый МГП 250 это гидравлическая реверсивная машина с нерегулируемыми параметрами. Гидромотор МГП 250 объединяет в себе ролики, ротор и статор. Эти части с двумя пластинами создают замкнутые камеры, имеющие переменный объём. В них с помощью золотникового механизма подаётся рабочая жидкость, приводящая в движение вал.

Относящийся к серии МГП (мотор гидравлический планетарный) конструктивно - это гидромотор аксиально поршневой нерегулируемый. Используется для установки на привод исполнительных механизмов гидравлики: дорожно-строительных, сельскохозяйственных, лесозаготовительных и коммунальных машин. Имеет следующие технические характеристики:

Рабочий объем –  $250 \text{ см}^3$ ;

Частота вращения –  $260 \text{ об/мин}$ ;

Крутящий момент –  $459 \text{ н/м}$ ;

Мощность –  $5,1 \text{ кВт}$ ;

Номинальный расход –  $30 \text{ л/мин}$ ;

Давление на входе –  $21 \text{ МПа}$ ;

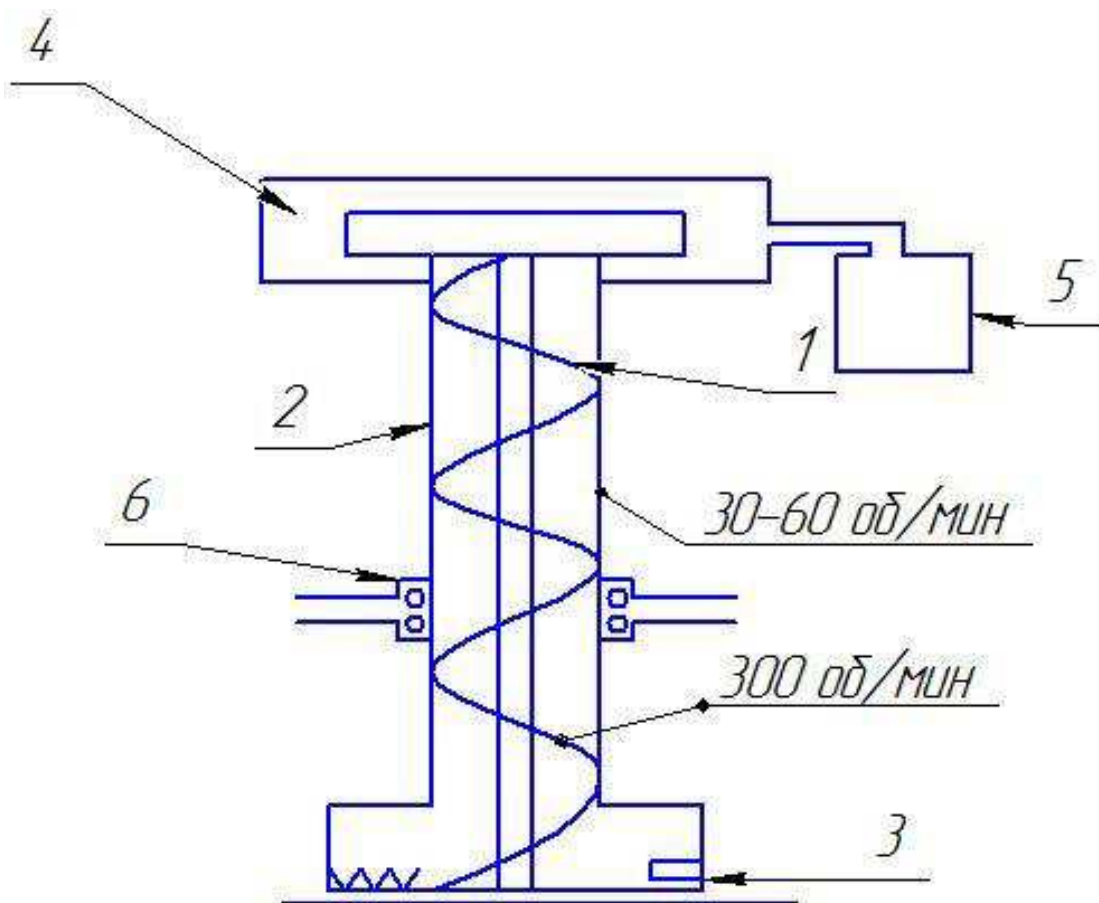
Принцип его действия заключается в подаче рабочей жидкости, через золотниковый механизм, попеременно то в одну рабочую полость, то в другую, образуемые между корпусом мотора и ротором и разделенные двумя подвижными в роторе пластинами. Возникающая вследствие этого разница давлений и вращает ротор. Нерегулируемый – означает, что рабочий объем остается неизменным, за один оборот. Так как МГП обладают большим крутящим моментом, они относятся к высоко моментным моторам, приводной вал имеет усиленную конструкцию.

По итогам второй главы был произведён расчёт мощности резания рабочим органом при условиях разных категорий прочности грунтов от II до V включительно и выбран гидромотор для его привода.

### 3 Технологическая часть

#### 3.1 Выбор технологической схемы

Навесное фрезерное оборудование представляет собой фрезерный рабочий орган, который послойной удаляет мёрзлый грунт с помощью резцов. Шнековый узел, вращающийся с большей скоростью, чем передаточный вал захватывает разбуренный грунт и поднимает в распределительный узел, в котором под действием центробежной силы будет направляться в бигбэг для дальнейшей утилизации или переработки.



1 – шнековый узел; 2 – передаточный вал; 3 – фреза; 4 – распределительный узел; 5 – бигбэг; 6 - опора

Рисунок 3.1 – Схема инструмента

Данное навесное оборудование будет устанавливаться на базе погрузчика Bobcat S850.

Мини-погрузчик Bobcat S850 - рамная модель универсального погрузчика Bobcat. Замыкает модельный ряд колесных погрузчиков Bobcat, как модель с предельными для класса мало габаритных погрузчиков параметрами по весу, высоте подъема и грузоподъемности (рисунок 3.2).

Модель S850 - является компактным гидравлическим носителем самых мощных видов навесного оборудования Bobcat, заменяет целый парк узкоспециализированной техники и механизмов. При работе с фрезой обеспечивает максимальную производительность.

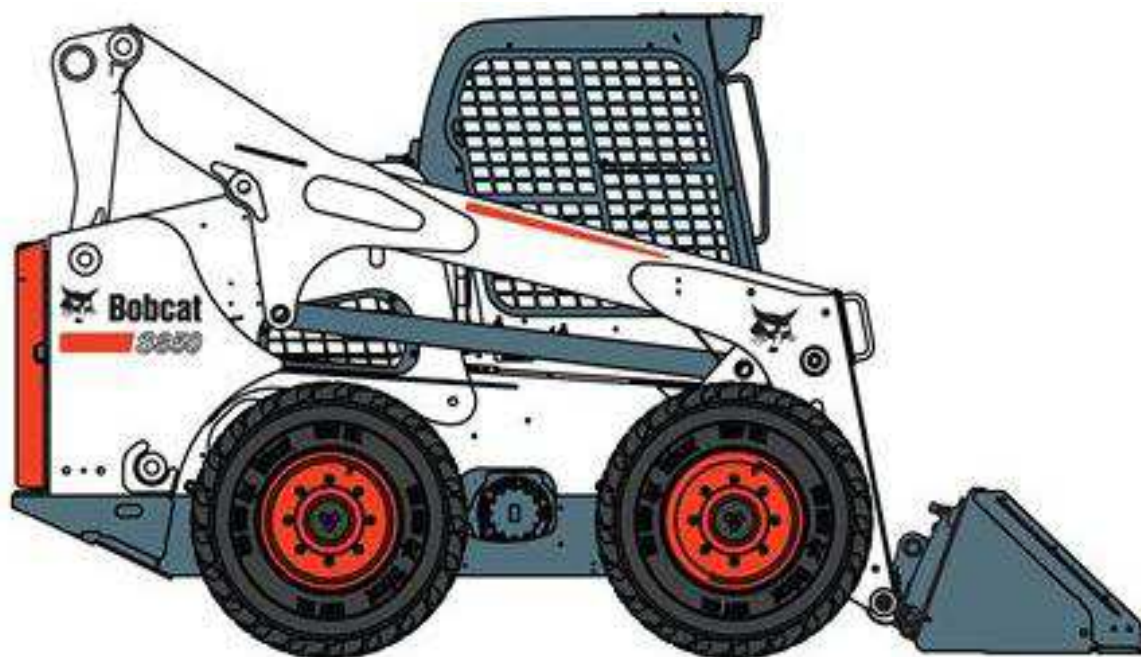


Рисунок 3.2 – Bobcat S850

В стандарте имеет 2 скорости движения (до 20 км/ч) и джойстиковую систему управления функциями, что делает данную модель потенциально самой перспективной для пользователя, так как многие специализированные виды навески требуют наличия в машине именно джойстиков (например, система лазерного или ультразвукового нивелирования грейдера, система дистанционного

беспилотного управления погрузчиком и др).

Краткие технические характеристики:

Номинальная грузоподъемность (ISO 14397-1): 1 850 кг;

Базовые размеры (с ковшом), Д x Ш x В: 3 751 x 2 032 x 2 118 мм;

Двигатель (дизель): Kubota / V3800-DI-T-E3;

Мощность двигателя: 93,3 л/с (68,6 кВт);

Рабочий вес: 4 540 кг;

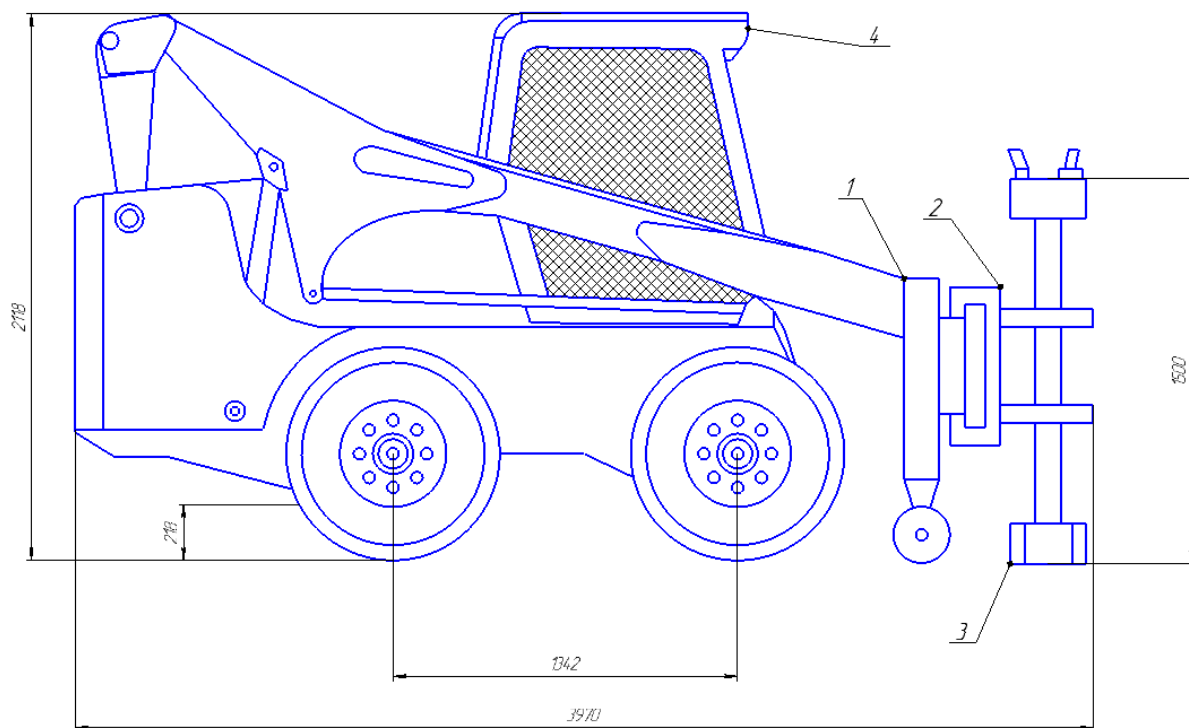
Скорость: 19,8 км/ч (стандарт);

Топливный бак: 124 л;

Трансмиссия: гидростатическая;

Джойстиковое управление функциями: стандарт.

На рисунке 3.3 представлена схема проектируемого фрезерного навесного оборудования. Общая высота навесного оборудования 1,5 м



1 - навесное оборудование; 2 - стойка; 3 - фреза; 4 - Bobcat S850

Рисунок 3.3 – Схема навесного оборудования

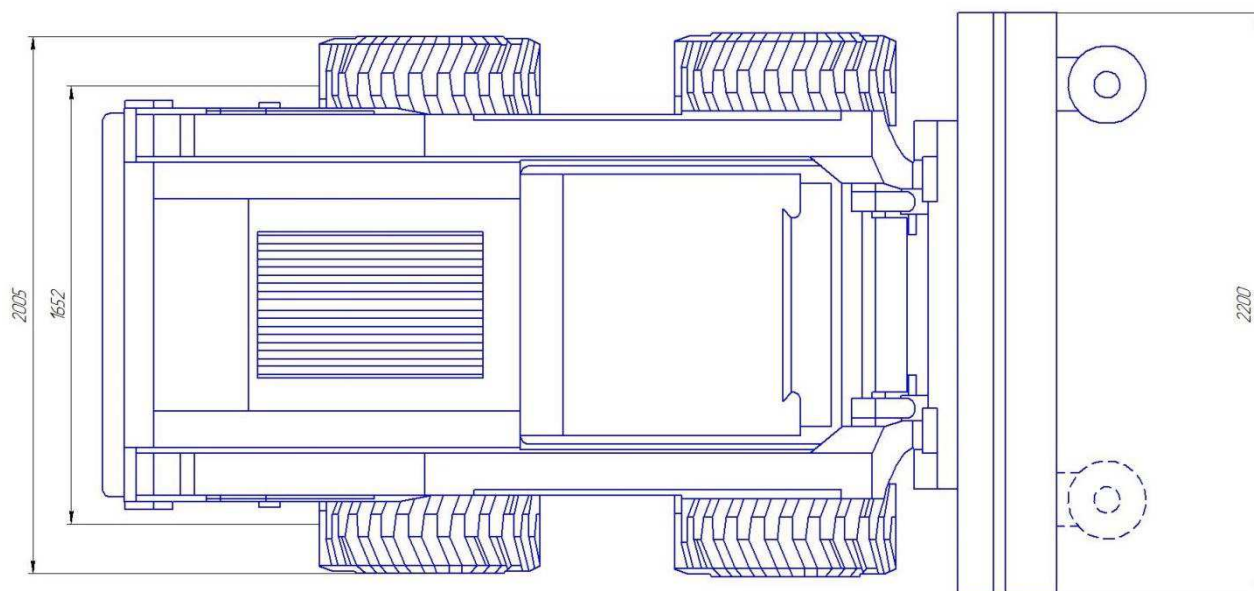


Рисунок 3.4 – Bobcat S850, вид сверху.

### 3.2 Проектирование бурового инструмента

Проектирование инструмента происходило в программе SOLIDWORKS 2016. Рассмотрим поэтапное создание.

Строим осевую линию, относительно неё откладываем будущий диаметр внутренних и внешних стенок 200 и 400 мм, соответственно. Высоту инструмента 150 мм (рисунок 3.5).





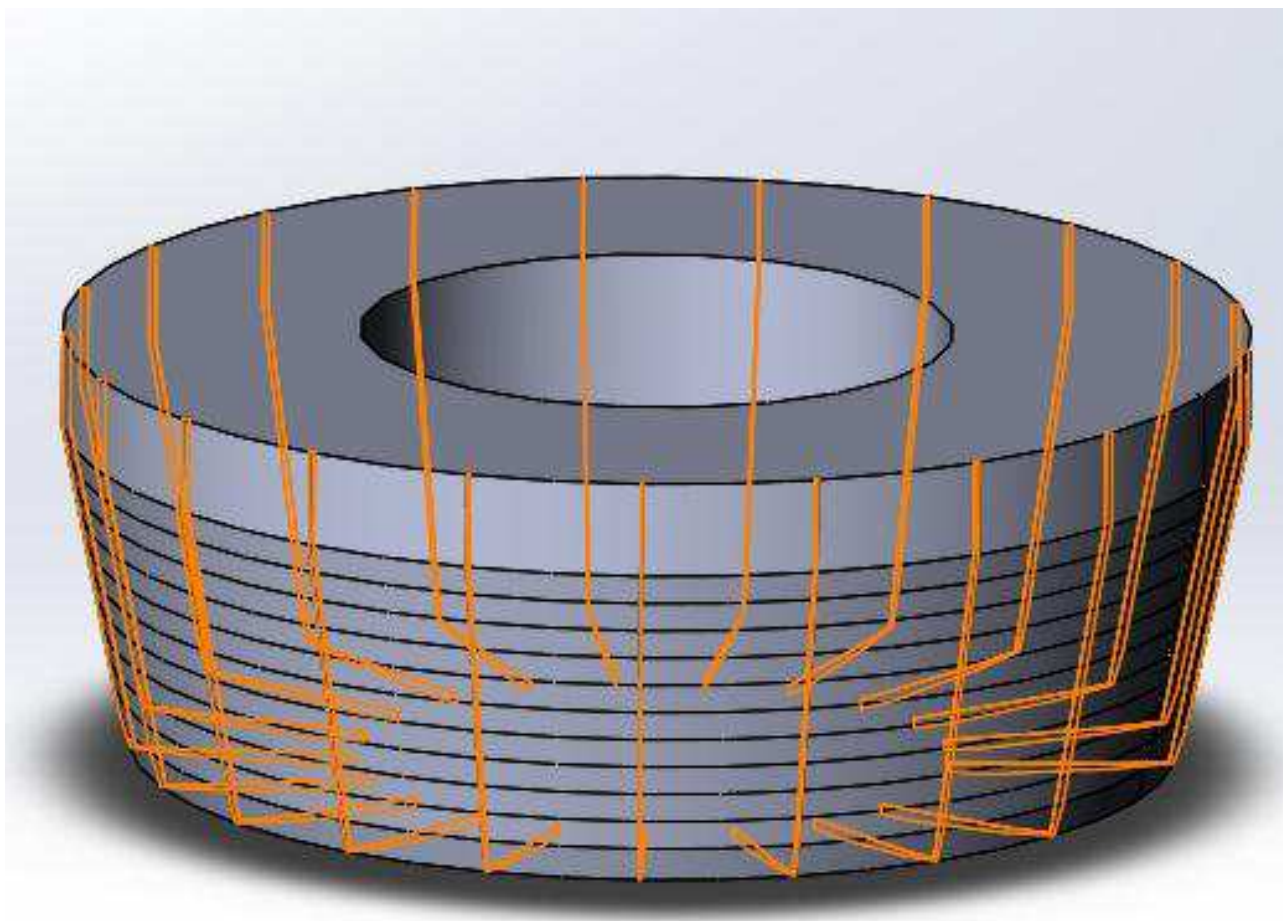


Рисунок 3.6 – Заготовка с вырезами

Строим вспомогательную плоскость, поворачивая на  $40^\circ$  относительно будущей режущей кромки резца. Рекомендуемый угол наклона резца  $45^\circ$ , но в связи с тем, что требования к величине угла при взаимодействии с боковой стенкой забоя поворотного резца составляет  $30^\circ$  градусов, то суммарная установка угла в траектории движения будет составлять  $40^\circ$  градусов.

Строим эскиз посадочного отверстия резца и производим повёрнутый вырез. На рисунке 3.7 показан эскиз посадочного отверстия резца. Далее по первой линии резания, отступая вниз, делаем дополнительные 4 выреза под резцы, показано на рисунке 3.8.

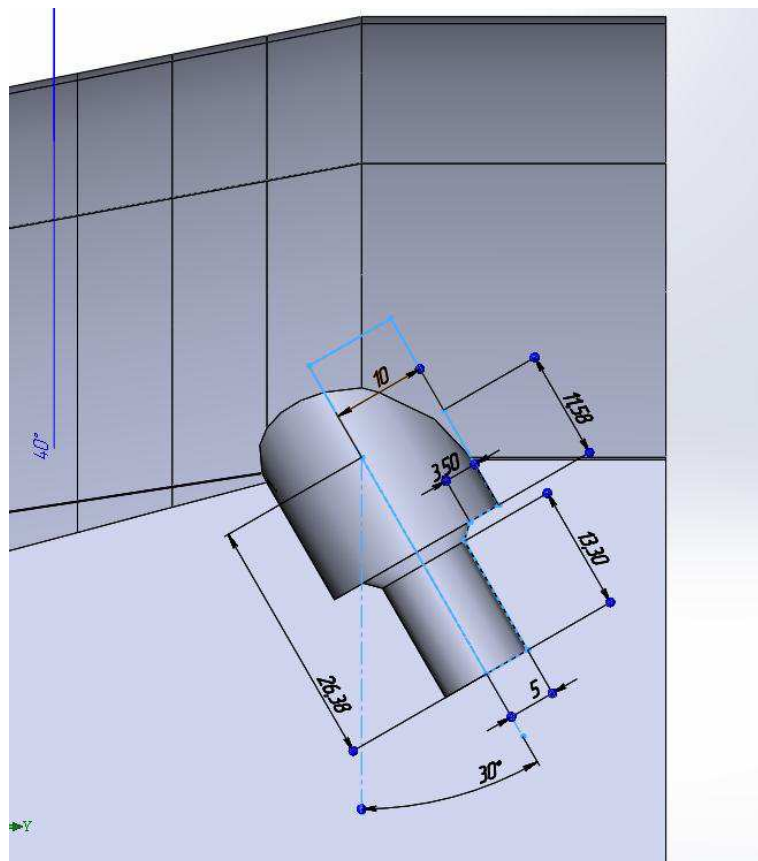


Рисунок 3.7 – Вырез под резец

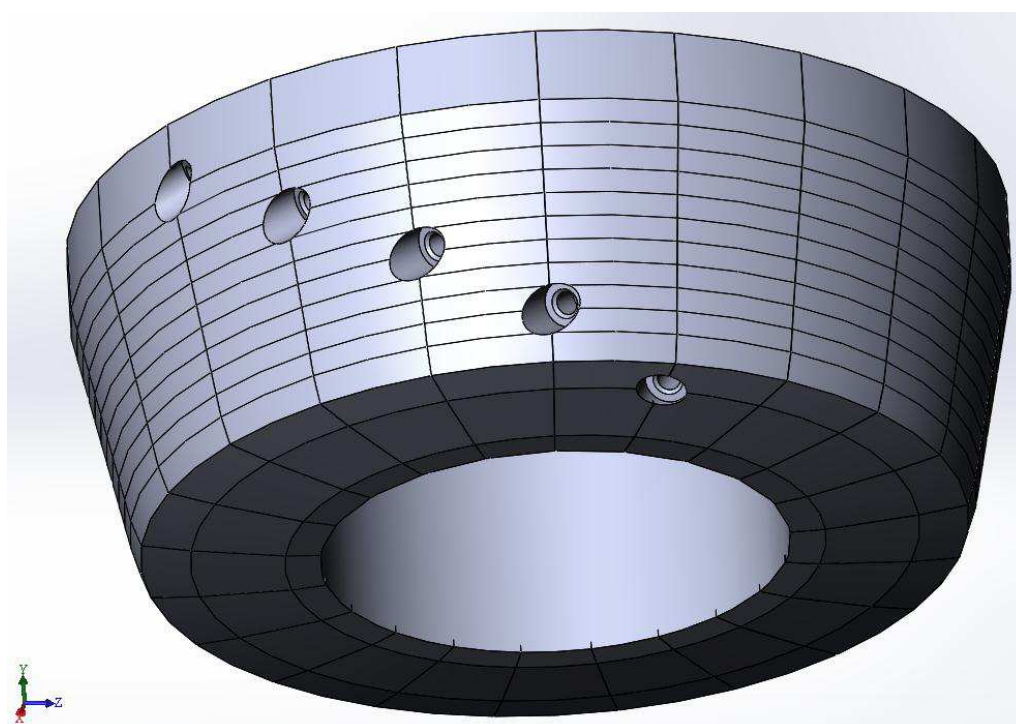


Рисунок 3.8 – Первая линия резания

Повторяем операции создания отверстий для посадки резцов, для второй и третьей линии резания, рисунок 3.9.

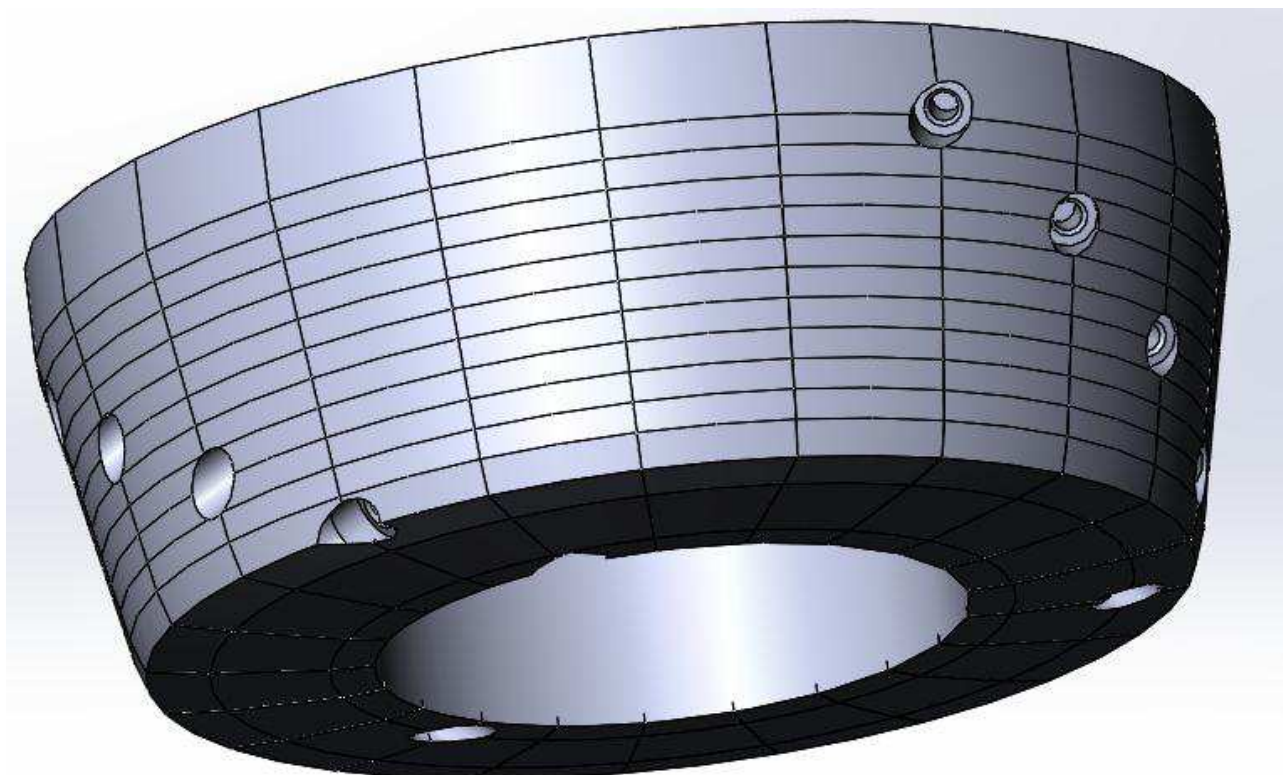


Рисунок 3.9 –Линии резания

В плоскости посадочного отверстия резца чертим эскиз и делаем вырез по сечениям, получая вырез по профилю инструмента. Проводим те же операции на двух других линиях резания, рисунки 3.10, 3.11.

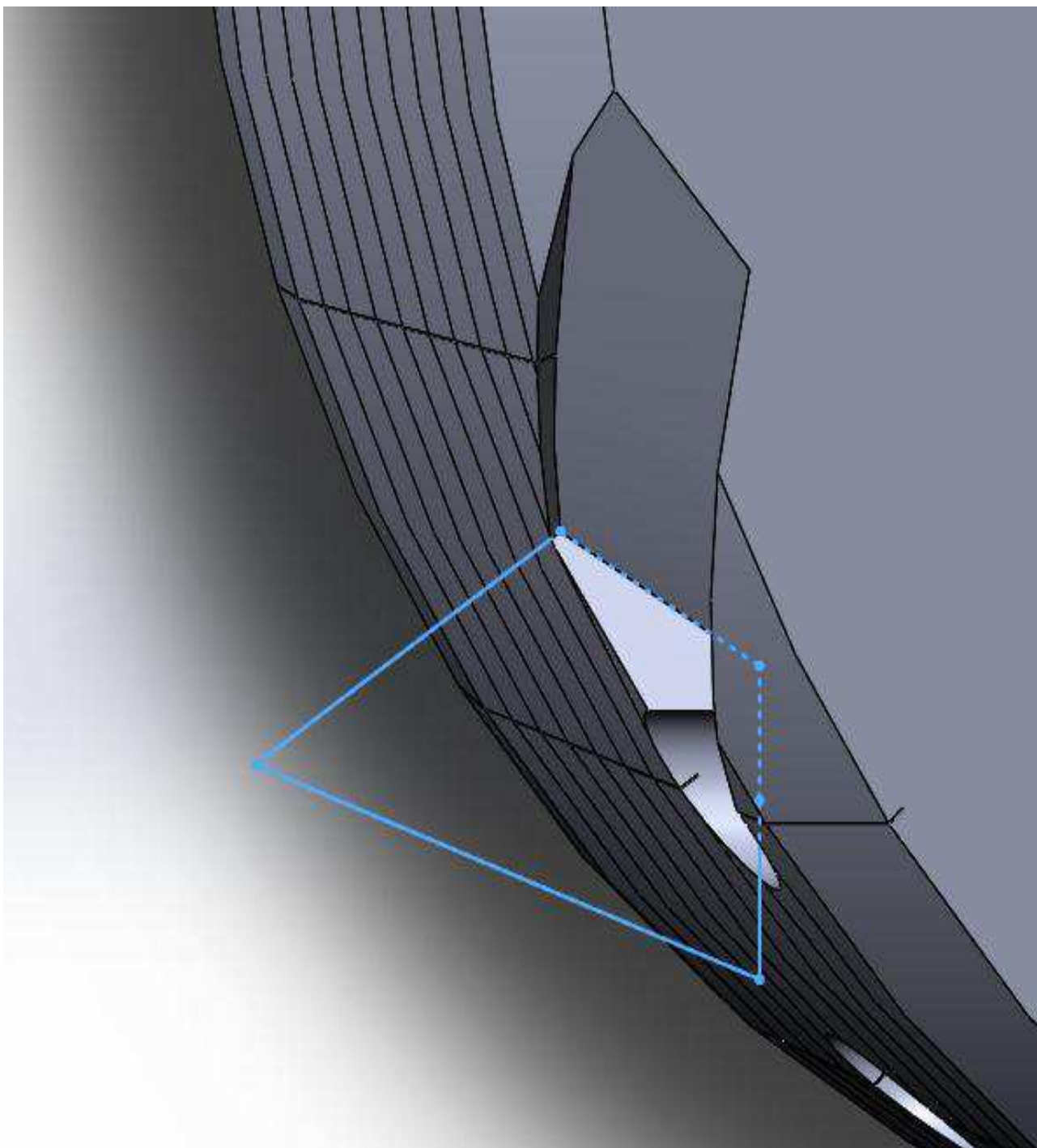


Рисунок 3.10 – Эскиз в плоскости



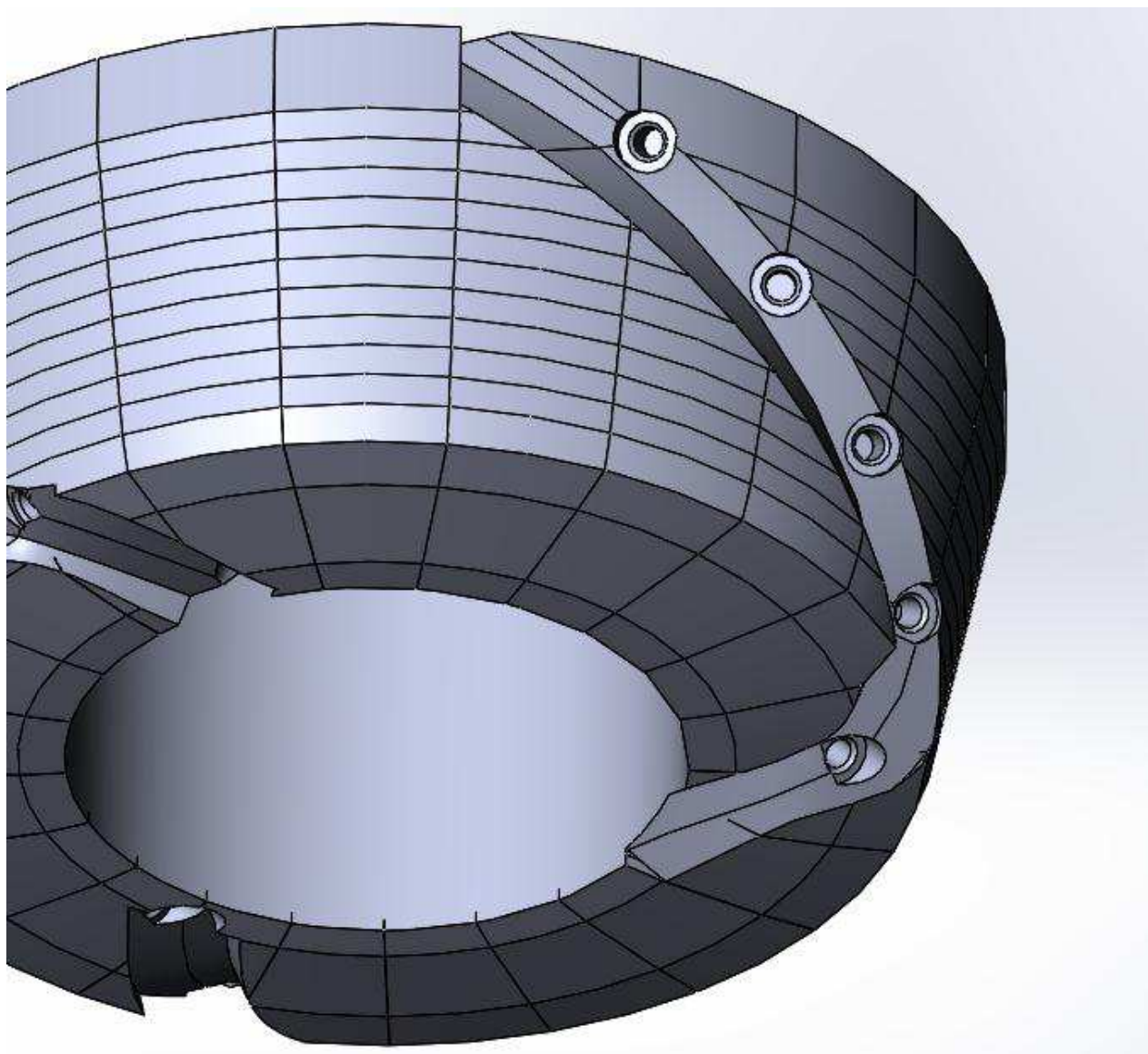


Рисунок 3.11 – Вырез под резцами

В плоскостях параллельных основанию инструмента чертим эскизы на каждом уровне, где находится резец и вырезаем с помощью операции 'вырез по сечениям'. Производим скругление в нижней части радиусом 30 мм, для того чтобы разбуренная порода могла попадать в центральную часть, где будет захватываться шнеком, конструкция показана на рисунках 3.12, 3.13.

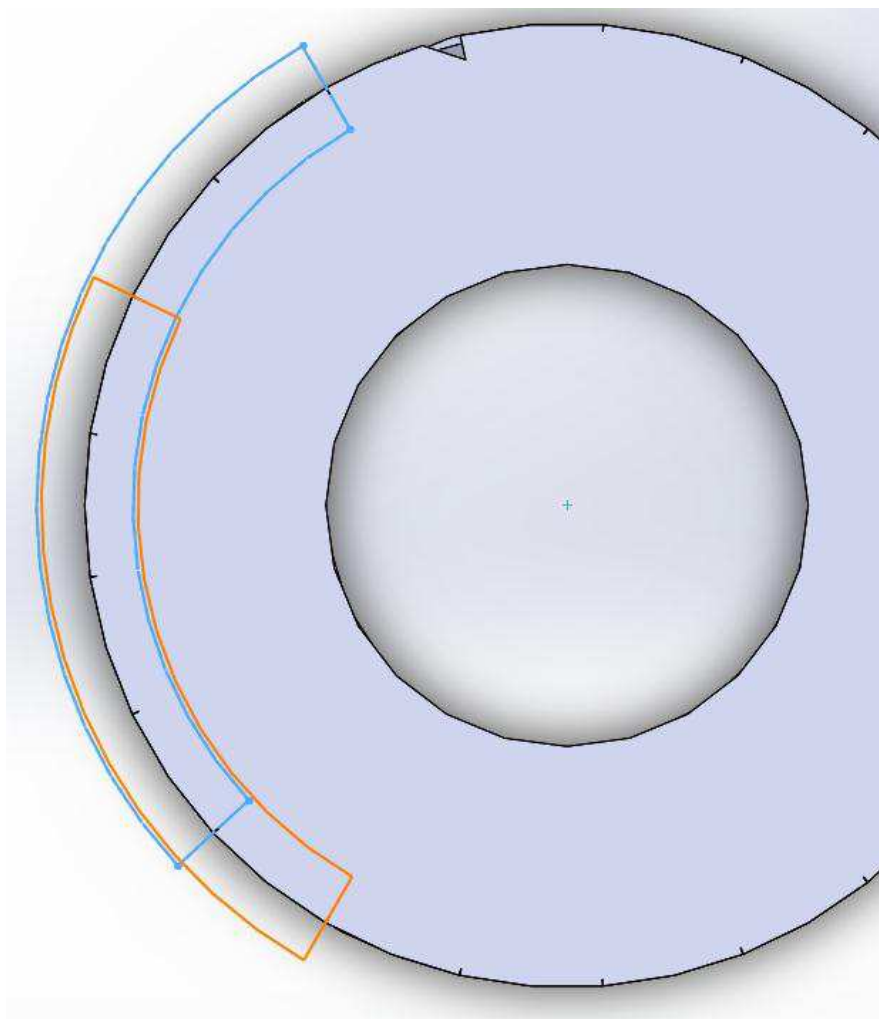


Рисунок 3.12 – Эскизы выреза

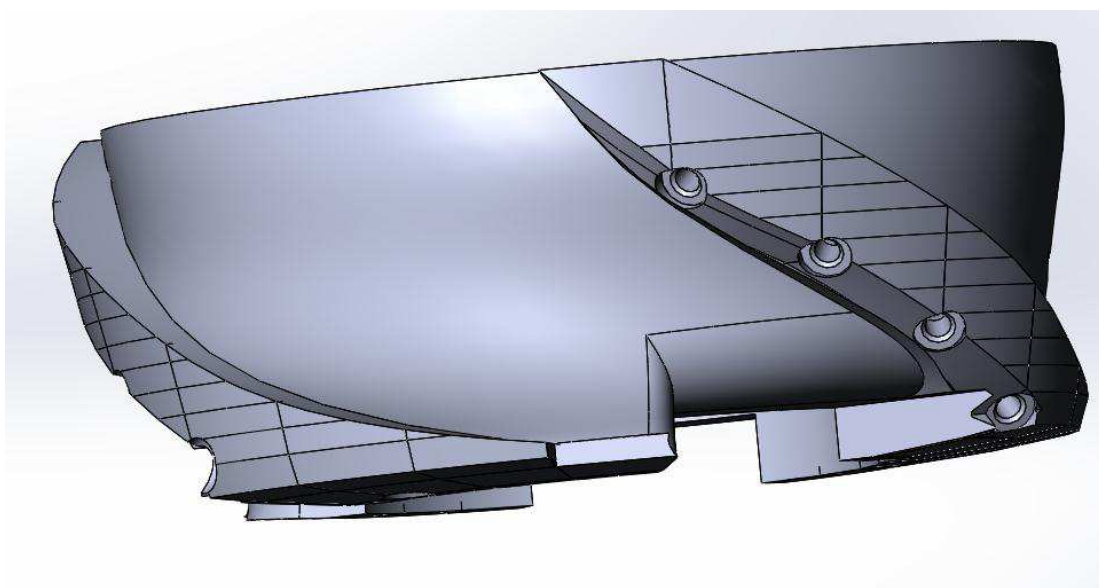


Рисунок 3.13 – Вырез по сечениям со скруглениями

Делаем вырезы под шлицы и отверстия под резьбовые соединения для закрепления на валу диаметром 20х70, рисунок 3.14.

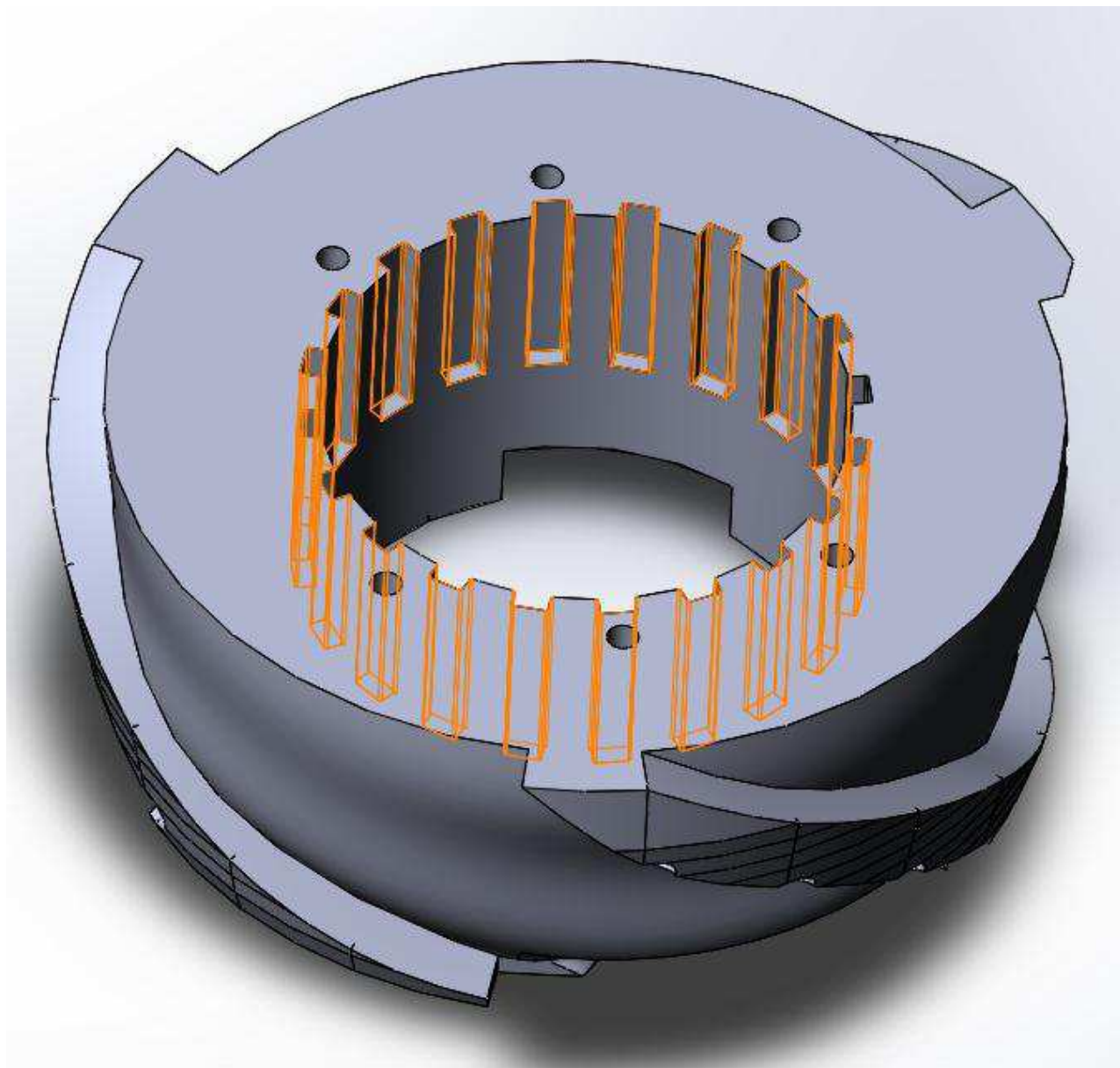


Рисунок 3.14 – Шлицы

Фиксируем резцы в подготовленных отверстиях, рисунок 3.15.

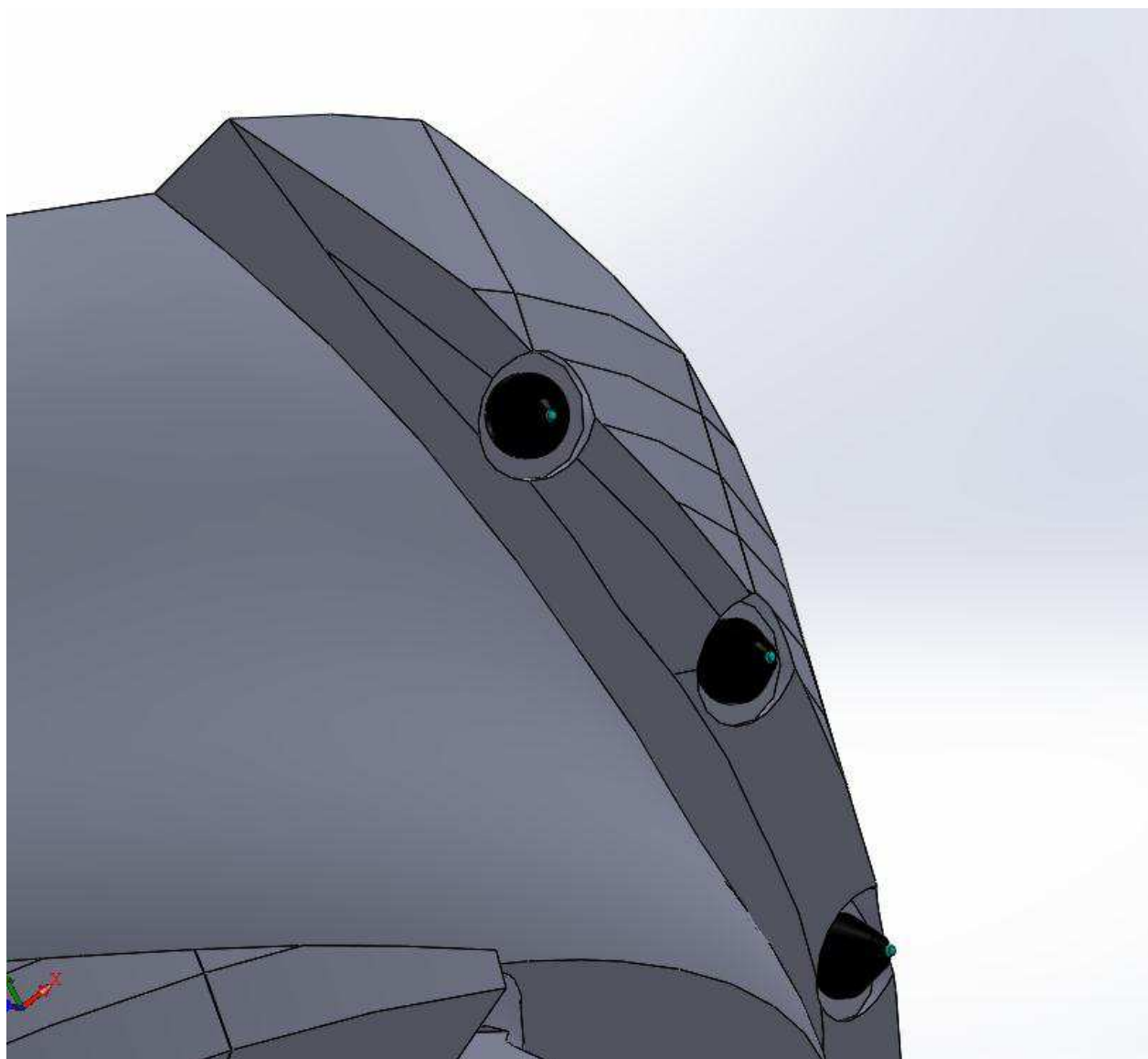


Рисунок 3.15 –Резцы

На рисунке 3.16 показана штанга в сборе, закреплённая болтами М20\*80.



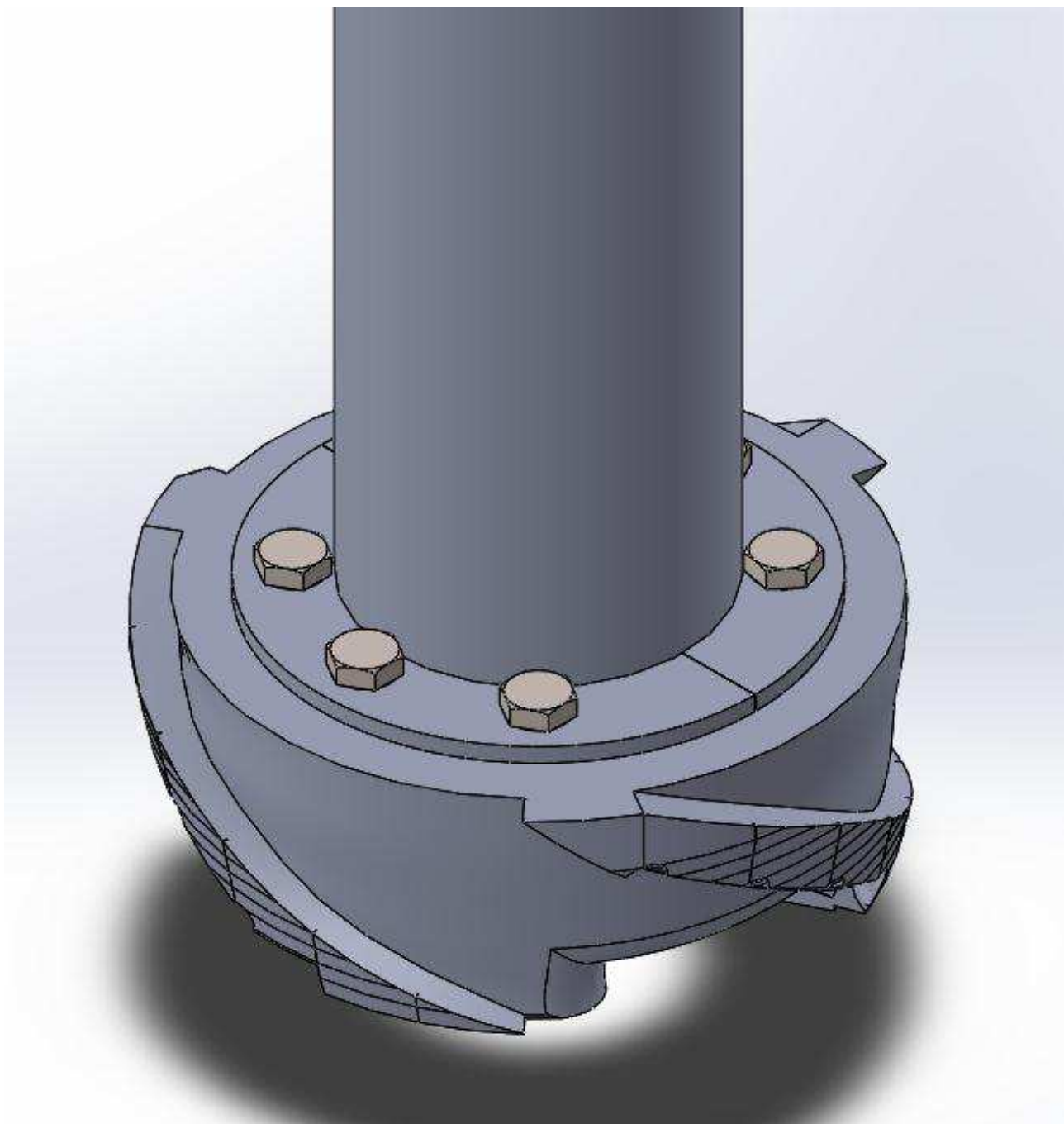


Рисунок 3.16 – Штанга фрезерного оборудования в сборе

Произведён выбор технологической схемы конструкции навесного оборудования, описан принцип действия. Данное оборудование будет обладать высокой мобильностью за счёт того, что мини-погрузчик Bobcat S850 возможно транспортировать по воздуху на платформе, с помощью вертолѐта к местам аварий. Описано пошаговое исполнение конструкции фрезерного инструмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вред, который наносится аварийными разливами нефтепродуктов, нельзя недооценивать. Поэтому необходимо продолжать исследования и разрабатывать новые технологии, которые будут позволять в короткие сроки устранять последствия нефтяных проливов.

Аварийные разливы нефти – это очень серьезная проблема, которая зачастую возникает на объектах нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности. В основном эта проблема возникает при перевозке нефти и нефтепродуктов или при авариях на буровых платформах, а это наносит большой вред экосистемам.

В данной работе был разработан эскизный проект рабочего инструмента для послойного удаления нефтяного пролива на мёрзлом грунте в зимний период до наступления паводка в районах Крайнего Севера. Изучены возникающие аварийные ситуации на объектах нефтегазодобычи и переработки при транспортировке нефти, проанализированы основные причины возникновения аварий на магистральных нефтепроводах. Найдены возможные способы устранения последствий аварийных разливов нефтепродуктов на воде, суше, заболоченных местностях с помощью механизированного сбора с применением сорбентов и диспергентов. Был проведён анализ поверхностного слоя мёрзлого грунта, выявлены его механические и физические свойства, влияние нефтепродуктов на изменения данных свойств, механизм переноса нефти внутри грунта. Проведён патентный обзор на существующие способы устранения нефтяных проливов. Был произведён расчёт мощности резания рабочим органом при условиях разных категорий прочности грунтов от II до V включительно по ударнику ДорНИИ и выбран гидромотор для его привода. Приведена технологическая схема конструкции навесного оборудования и поэтапное создание фрезерного рабочего органа.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е. В. Бенза, Некоторые способы ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на почве // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. - № 4. - С. 118-123.
2. Воробьев Ю. Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. - М.: Ин-октаво, 2005. - 368 с.
3. Ишмухаметов И.Т. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов / И.Т. Ишмухаметов, С.Л. Исаев, М.В. Лурье, С.П. Макаров. – М.: Нефть и газ, 1999. – 300 с.
4. Олейник А.П. Сравнительный анализ аварийности на объектах трубопроводного транспорта в России и США // Вестник РУДН. - №4. – 2016. – с.84-90.
5. Волчков С.В., Прусенко Б.Е., Сажин Е.Б. и др. Анализ причин аварий на промысловых нефтепроводах Западной Сибири. Сборник научных трудов «Морские и арктические нефтегазовые месторождения и экология», - М, РАО Газпром, 1996, с.26.
6. Каблов В.Ф., Иощенко Ю.П. Проблема сбора нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 6. – С. 64-65.
7. РД 03-293-99 «Положение о порядке технического расследования причин аварий на опасных производственных объектах».
8. РД 39-132-94 «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов».
9. Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, реках и озерах, изд. ЗАО «ЦНИИМФ», С.-Петербург, 2002, 344 с.
10. Мочалова О.С, Гурвич Л.М., Антонова Н.М. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Нефтяные аварийные разливы и роль диспергирующих средств в их ликвидации. «НефтеГазоПромысловый Инжиниринг», 1/2004.

11. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. - М.: ВНИРО, 2001 год, 247 с.
12. Цытович Н.А.– Механика мёрзлых грунтов. - М.: Изд-во МГУ, 1978г.
13. Кулепов, В.Ф. Определение нагрузок на рабочие органы ледорезных машин на основе численной реализации математической модели / В.Ф. Кулепов, А.Л. Малыгин, В.В. Романов //Труды НГТУ– Т.45. - Н.Новгород. 2004. С.105-109.
14. Зеленин А.Н.- Физические основы теории резания грунтов. - М, АН СССР, 1950г.
15. Шевченко Л.В., Ширшова И.В. Прочностные свойства мерзлых глинистых грунтов // Геоэкология. 2008. № 1. С. 78-84.
16. Клубова Т.Т. Глинистые минералы и их роль в генезисе, миграции, аккумуляции нефти М.: Недра, 1973. 254 с.
17. Доброва Д.В., Королёв В.А., Соколов В.Н., Неклюдов Д.Б., Бабакина О.А. Модели формирования микроструктур глинистых грунтов при их химическом загрязнении // Генезис и модели формирования свойств грунтов. Тр. Междунар. научн. конф. (Россия. Москва. МГУ, 26-27 мая. 1998). М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 106-107.
18. Королёв В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 368 с.
19. Ершов Э.Д., Мотенко Р.Г., Журавлев И.И., Ершова Г.Э. Оценка влияния гранулометрического состава на теплофизические характеристики мерзлых дисперсных пород, загрязненных нефтью // Матер. Второй конф. геокриологов России. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 88-95.
20. Гусева О.А. Опытное моделирование процессов миграции нефти и нефтепродуктов в разных типах тундровых почв ЕТР // Геоэкология в нефтяной и газовой промышленности. Тез. докл. научн.-техн. конф. М.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1995. С. 8-9.
21. Чувилин Е.М., Микляева Е.С., Козлова Е.В., Инстанес А. Экспериментальное изучение нефтяного загрязнения мерзлых пород // Матер. Второй конф.

геокриологов России. Т. 1. М.: МГУ, 2001. С. 163-169.

22. А.с. 1710672 СССР, Е 02 F 5/08. Устройство для снятия верхнего слоя зараженного грунта / Б.Г. Ткач. – № 4697508/03 ; заявл. 10.03.89 ; опубл. 07.02.92, Бюл. № 5. – 5 с.

23. Пат. 2098565 Российская Федерация, МПК Е 02 F 5/08. Машина для послойного фрезерования горных пород / заявитель и патенто-обладатель Э.Г. Ронинсон, А.В. Жаворонков, А.Н. Толмачев, В.И. Фарафонов, Ю.Н. Малышев – № 95103591/03 ; заявл. 13.03.95 ; опубл. 10.12.97. - 6 с.

24. Пат. 2317161 Российская Федерация, МПК E02B 15/04, B09C 1/00. Способ очистки земной поверхности от нефти и нефтепродуктов в зимний период / А.Б. Курченко, заявитель и патенто-обладатель Специализированное профессиональное аварийно-спасательное формирование МЧС России Общество с ограниченной ответственностью "Природа" – № 2006103585/03 ; заявл. 07.02.06 ; опубл. 20.08.07, Бюл. №5. - 6 с.

25. Родин И. И. Основы проектирования многоковшовых экскаваторов непрерывного действия: учебное пособие / И. И. Родин, Л. К. Соколов. - Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1987.

26. Ветров Ю.А. Исследование резания грунтов. М.: Машиностроение, 1971.

27. Соколов Л.К. Выбор рациональных параметров режущих органов траншейных машин для разработки мерзлых грунтов // Строит. и дор. машины. 1981. №1.

28. Смирнов, А.А. Трехмерное геометрическое моделирование: учеб. пособие по курсу «Основы автоматизации проектирования» / А.А. Смирнов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 40 с. : ил.

29. СТО 4.2-07-2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности [текст] / разработ. Е. Н. Осокин, Л. В. Белошапко, М. И. Губанов. – Введ. 09.01.2014. – Красноярск: ПЦ БИК СФУ, 2014. – 60 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

### **ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

- 1) Навесное фрезерное оборудование. – Чертёж общего вида. (1 лист, формат А1)
- 2) Фреза. – Сборочный чертёж. (1 лист, формат А1)
- 3) Корпус. (1 лист, формат А1)
- 4) Резец. (1 лист, формат А4)


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский  
« 06 » июня 2017 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов  
нефтегазового производства»

Разработка специального буро-фрезерного инструмента для удаления  
нефтяных проливов в зимний период

Руководитель



к.т.н., доцент

А.К. Данилов

Выпускник



А.В. Мартынюк

Красноярск 2017